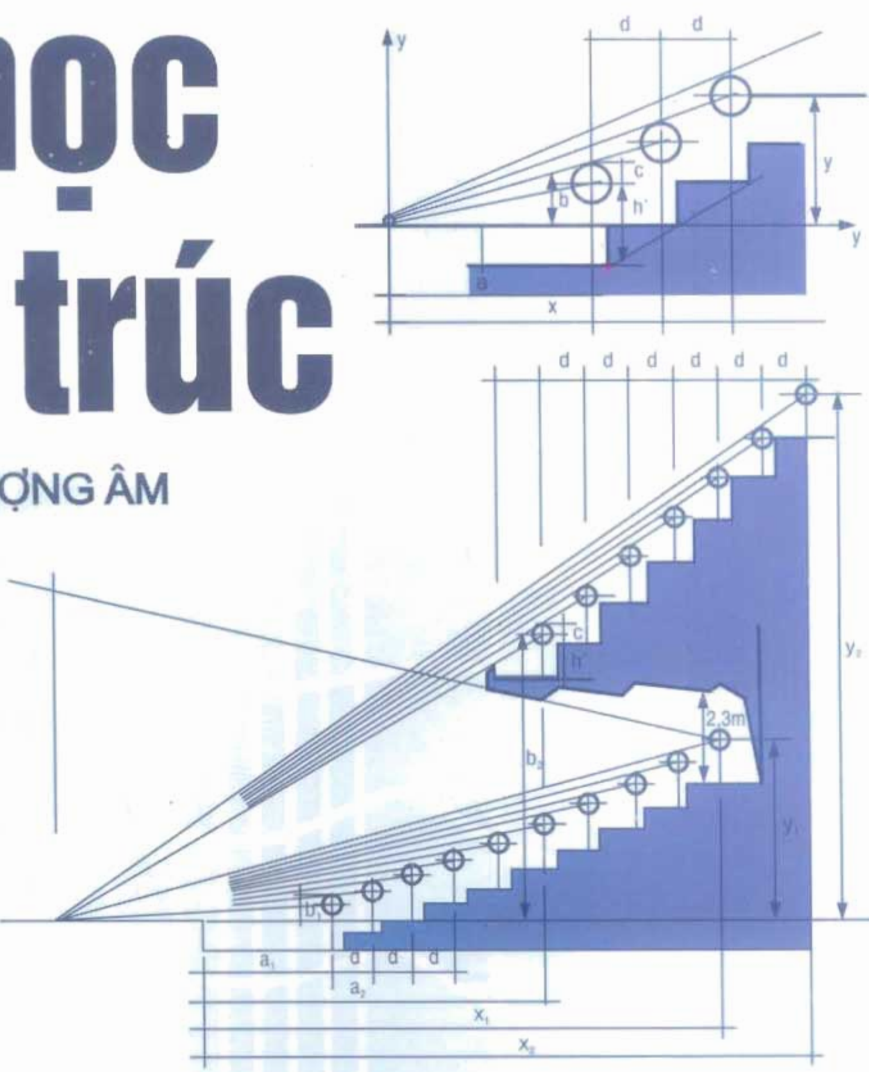
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

VIỆT HÀ - NGUYỄN NGỌC GIẢ

Cơ sở Âm học kiến trúc

THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC TP. HỒ CHÍ MINH
VIỆT HÀ - NGUYỄN NGỌC GIẢ

CƠ SỞ ÂM HỌC KIẾN TRÚC

THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM

(Tái bản)

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2010

LỜI NÓI ĐẦU

*Cuốn **Cơ sở âm học kiến trúc** biên soạn theo chương trình đào tạo kiến trúc sư và kỹ sư xây dựng công trình kiến trúc, cũng là tài liệu tham khảo trong hành nghề thiết kế kiến trúc.*

Đây là lần xuất bản thứ ba (lần thứ nhất xuất bản năm 1979, lần thứ 2 tái bản năm 1993). Tái bản lần này chúng tôi đã điều chỉnh và bổ sung hoàn chỉnh hơn.

Âm học kiến trúc bao gồm 2 phần:

- Thiết kế chất lượng âm đảm bảo tiện nghi nghe nhìn trong không gian kiến trúc.

- Kỹ thuật chống ồn, bảo đảm sự yên tĩnh vệ sinh của môi sinh.

Cuốn sách này, ngoài những nguyên lý cơ bản nhằm trang bị một số kiến thức cơ sở để sáng tạo trong sáng tác thiết kế, chúng tôi còn đưa vào những thí dụ cụ thể để làm sáng tỏ phương pháp vận dụng các nguyên lý cơ bản đó.

Hiện nay chất lượng sống ngày càng cao, nhu cầu về tiện nghi nghe nhìn, về chất lượng môi sinh ngày càng phát triển. Rất mong đồng nghiệp xa gần đóng góp ý kiến để lần xuất bản sau tốt hơn.

Tác giả

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	3
Chương I. KHÁI NIỆM CƠ BẢN	
I. Dao động	7
II. Sóng cơ	13
III. Sóng âm	27
IV. Âm vật lý và âm hình học	47
Chương II. VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU HÚT ÂM	
I. Nguyên lý hút âm và hệ số hút âm	53
II. Phân loại vật liệu và kết cấu hút âm	55
III. Xử lý kiến trúc vật liệu hút âm	79
Chương III. THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM NHÀ HÁT NGOÀI TRỜI (truyền âm ngoài trời)	
I. Đặc điểm âm thanh của nhà hát ngoài trời	81
II. Độ rõ của tiếng nói ngoài trời	84
III. Thiết kế nhà hát ngoài trời	85
Chương IV. THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM TRONG PHÒNG	
I. Hiện tượng cộng hưởng của phòng	90
II. Hình dáng phòng và trường âm trong phòng	96
III. Trường âm trong phòng	98
IV. Độ tắt dần trung bình	107
V. Vùng âm trực tiếp và vùng âm phản xạ	108
Chương V. TIÊU CHUẨN ĐÁNH GIÁ ĐỊNH LƯỢNG CHẤT LƯỢNG ÂM TRONG PHÒNG	
I. Mức độ khuếch tán của trường âm	110
II. Âm vang, thời gian âm vang	116
III. Độ rõ	145
Chương VI. THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM PHÒNG KHÁN GIẢ	
I. Những yêu cầu chung về chất lượng âm trong các loại phòng khán giả	154
II. Quan hệ gần đúng giữa thời gian âm vang (T), công suất nguồn âm (W), thể tích phòng (V)	177
III. Thiết kế chất lượng âm phòng khán giả theo mục đích sử dụng	179
Chương VII. HỆ THỐNG ĐIỆN THANH	
I. Cấu tạo và tác dụng của hệ thống điện thanh	199

II. Yêu cầu cơ bản đối với hệ thống điện thanh 199
III. Sơ lược về máy thu (micro) 202
IV. Sơ lược về loa 202
V. Bố trí loa 204
VI. Phân loại hệ thống điện thanh 207
VII. Thiết kế kéo dài thời gian 212
VIII. Tính toán và lựa chọn hệ thống điện thanh 216
Chương VIII. NGUỒN ỒN – TÁC HẠI CỦA TIẾNG ỒN
I. Nguồn ồn – Tính chất của tiếng ồn 224
II. Tiêu chuẩn mức ồn cho phép 235
Chương IX. LAN TRUYỀN TIẾNG ỒN TRONG KHÔNG GIAN QUY HOẠCH VÀ NGUYÊN LÝ NGĂN CÁCH
I. Phương thức lan truyền tiếng ồn không gian quy hoạch 254
II. Quy hoạch mặt bằng và chống ồn 254
III. Nguồn ồn ngoài nhà 255
IV. Độ giảm mức ồn lan truyền trong không gian quy hoạch 257
Chương X. LAN TRUYỀN TIẾNG ỒN TRONG CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC VÀ NGUYÊN TẮC XỬ LÝ
I. Phương thức lan truyền âm qua kết cấu ngăn cách 280
II. Khả năng (hay lượng) cách âm không khí của kết cấu 281
III. Nguyên tắc xử lý giảm nhỏ tiếng ồn trong công trình kiến trúc 283
IV. Xử lý hút âm giảm nhỏ tiếng ồn 284
V. Thiết kế kết cấu cách âm 288
VI. Đánh giá hiệu quả thiết kế kết cấu cách âm 326
VII. Mức ồn tổng hợp trong phòng 338
VIII. Độ giảm mức ồn trong nhà tập thể và gia đình 340
IX. Chụp hút âm 340
X. Cách ly chấn động của thiết bị máy móc 341
XI. Giảm nhỏ tiếng ồn của hệ thống thông gió 344
Phụ lục 1 348
Phụ lục 2 358
Tài liệu tham khảo 361

Chương 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Âm thanh truyền đi trong không gian dưới dạng sóng cơ, sự lan truyền sóng cơ thực chất là sự lan truyền năng lượng dao động cơ của các phần tử vật chất trong môi trường có sóng. Vì vậy, muốn hiểu được bản chất của âm thanh phải bắt đầu nghiên cứu từ dao động của chất điểm (phần tử) cơ bản nhất trong môi trường truyền sóng.

I. DAO ĐỘNG

1. Dao động cơ điều hòa - Hệ dao động đơn

Dao động cơ điều hòa là dao động không đổi theo thời gian, một dạng dao động lý tưởng đơn giản nhất.

Bất kỳ một hệ dao động cơ nào cũng đều bao gồm 2 nhân tố vật lý:

- Một là "lò xo đàn hồi", hệ số đàn hồi **K**;

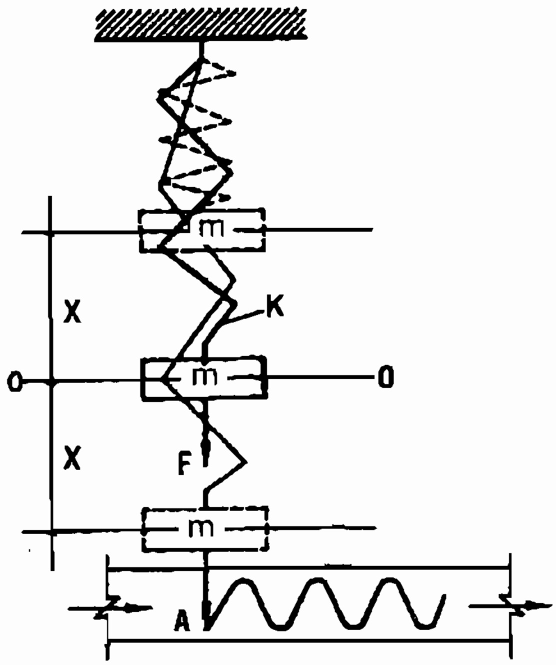
- Hai là "phần tử dao động", khối lượng **m** (hình 1 - 1).

Khi không có ngoại lực kích động, hệ hoàn toàn đứng yên tại vị trí cân bằng bền, hệ chỉ có tiềm năng dao động. Nếu có lực **F** kéo phần tử **m** rời khỏi vị trí cân bằng bền một đoạn **X** thẳng đứng rồi thả ra phần tử **m** sẽ dao động liên tục.

Giả sử gắn vào **m** kim tự ghi **A**, quá trình dao động của **m** sẽ được kim ghi lại trên băng giấy chuyển động một đường cong hình sin. Quá trình đó xảy ra như sau:

- Khi tác dụng vào phần tử **m** một lực **F** kéo xuống thẳng đứng, lò xo đàn hồi sẽ tác dụng lên phần tử **m** một lực kéo **F** ngược chiều với độ dời **X**.

- Khi bỏ ngoại lực, phần tử **m** trở về ngay vị trí cân bằng **O** lần thứ nhất, nhưng do quán tính, phần tử **m** vượt qua vị trí cân bằng và đạt được độ dời **X** về phía bên kia



Hình 1 - 1. Hệ dao động điều hoà

vị trí cân bằng, lò xo bị nén nên xuất hiện lực đẩy **F** đẩy phần tử **m** trở về vị trí cân bằng lần thứ hai, thực hiện được một dao động đi về.

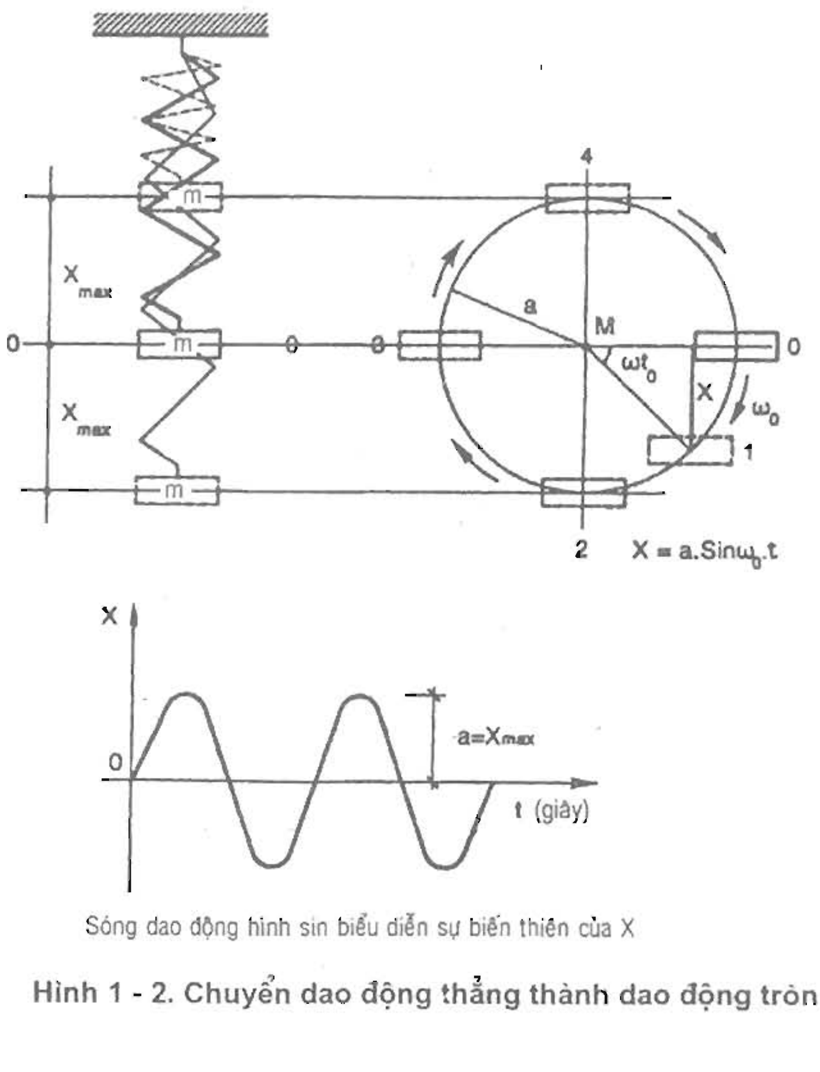
2. Khảo sát dao động cơ điều hòa

Để khảo sát và thiết lập phương trình dao động của hệ dao động điều hòa trên đây, chúng ta chuyển hệ dao động thẳng thành dao động tròn (hình 1 - 2).

Dễ dàng thấy rằng, dao động thẳng của hệ là hình chiếu của dao động tròn, trong đó phần tử **m** chuyển động trên đường tròn tâm **M**, bán kính $a = |X_{max}|$ với vận tốc góc (còn gọi là tần số góc) $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$. Nếu vị trí ban đầu của **m** tại **O**, sau thời gian **t**, **m** dịch chuyển được một đoạn **X** tới vị trí 1, ta có:

$$X = a.\sin\omega_0.t$$

Đây là phương trình dao động của phần tử **m** về 2 phía của vị trí cân bằng **O - O**.



Sóng dao động hình sin biểu diễn sự biến thiên của X

Hình 1 - 2. Chuyển dao động thẳng thành dao động tròn

Nếu vị trí ban đầu cách O một góc φ:

$$X = a.\sin(\omega_0.t + \varphi)$$

3. Các đặc trưng của dao động

• $a = |X_{max}|$ gọi là biên độ dao động. Vậy biên độ dao động là độ dời cực đại có thể có của phần tử dao động kể từ vị trí cân bằng.

• Thời gian cần thiết để **m** thực hiện được một dao động toàn phần (1 lần đi về) từ 0 đến 1, 2, 3, 4 và trở về 0 là một chu kỳ **T**, tính bằng giây (s).

Theo ý nghĩa đó, ta có:

$$\omega_0 T = 2\pi \rightarrow T = 2\pi/\omega_0$$

• Số dao động toàn phần thực hiện được trong 1 giây gọi là tần số dao động f:

$$f = \frac{1}{T} \text{ số chu kỳ/giây}$$

Số chu kỳ/giây, có tên là héc (viết tắt **Hz**).

• Chúng ta có các quan hệ sau:

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi}; \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}} = 2\pi f; \qquad f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$$

Vậy:

$$X = a.\sin 2\pi f t$$

Vận tốc dao động quanh vị trí cân bằng của phần tử **m**:

$$v = -a.\,\omega_0.\cos(\omega_0.t + \varphi)$$

4. Hệ dao động phức tạp

Hệ dao động chúng ta xét trên đây gồm 2 nhân tố vật lý hoàn toàn tách biệt, đó là: tính đàn hồi tập trung trong lò xo, khối lượng tập trung trong phần tử **m**. Hệ dao động như vậy gọi là hệ dao động đơn, chỉ có một tần số dao động f.

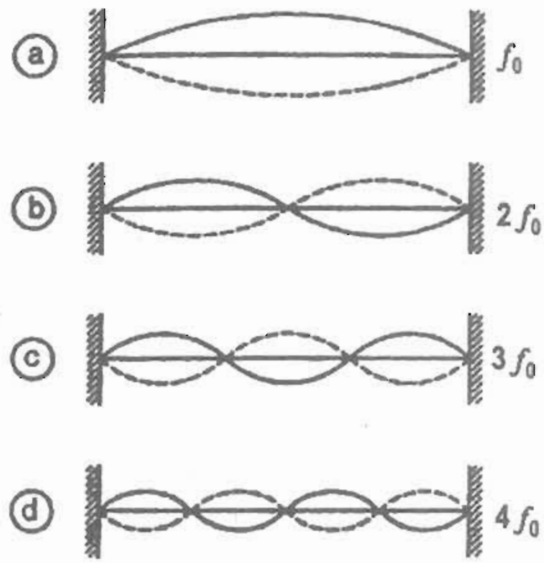
Thực tế thường gặp những vật dao động phức tạp hơn nhiều như tường, sàn nhà... tính đàn hồi và khối lượng hoàn toàn không tách biệt.

Xét dao động của một dây đàn: mỗi đoạn nhỏ trên dây đàn đều có khối lượng và tính đàn hồi biểu hiện ở khả năng có thể co dãn được của chúng. Vì vậy mỗi đoạn nhỏ của dây đàn là một hệ dao động (hình 1 - 3).

Khi dao động trên toàn chiều dài (hình a), tần số dao động f_0 thấp nhất, âm của nó phát ra trầm nhất gọi là âm cơ bản, tần số f_0 gọi là tần số cơ bản .

Nếu dao động của dây đàn như (hình b, c và d), tần số dao động tương ứng bằng $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$ v.v... đều là bội số của tần số cơ bản, gọi là tần số phụ họa bao phủ quanh tần số cơ bản, âm của chúng phát ra gọi là họa âm. Họa âm càng nhiều, âm nghe càng du dương.

Như vậy, dao động của vật thể trong thực tế là những dao động phức tạp gồm nhiều tần số trong đó có một tần số cơ bản và những tần số phụ họa bao phủ quanh tần số cơ bản.



Hình 1 - 3. Dao động phức tạp

Vì $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$ nên vật có khối lượng càng lớn, tần số dao động càng thấp, âm phát ra càng trầm.

5. Năng lượng của dao động cơ điều hòa

Nếu phần tử dao động có khối lượng **m** dao động với vận tốc **v**, động năng $E_đ$ bằng:

$$E_đ = \frac{1}{2}m.v^2$$

Thế năng đo bằng công do ngoại lực gây ra độ dịch chuyển **X**, do đó thế năng đàn hồi bằng:

$$E_t = A = \frac{1}{2}K.X^2$$

Năng lượng toàn phần của hệ dao động điều hòa:

$$E = E_t + E_d = \frac{1}{2}(m\,v^2 + K.X^2)$$

Sau khi thay thế ta có: $E = \frac{1}{2}m\,.\omega_0^{\,2}\,.a^2 = \frac{1}{2}K.a^2$

Trong quá trình dao động, **v** và **X** biến thiên theo thời gian, nên động năng và thế năng cũng biến thiên theo thời gian.

6. Dao động tắt dần (hình 1 - 4)

Trong thực tế, do tồn tại lực cản, nên năng lượng hệ nhận được ban đầu phải sử dụng để thắng lực cản của môi trường nhớt. Kết quả, biên độ dao động giảm dần theo thời gian trong quá trình dao động, do đó năng lượng cũng giảm dần. Như vậy dao động tắt dần thực hiện dưới 2 lực tác dụng:

- Tác dụng của lực đàn hồi: $F = -K.X$

- Tác dụng của lực cản: F_c = [illegible]. v

a) Phương trình của dao động tắt dần

Như vậy, lực toàn phần tác dụng lên phần tử **m**:

$$F_{tp} = F_c + F = -k.v - K.X$$

Sau khi dẫn giải, ta có:

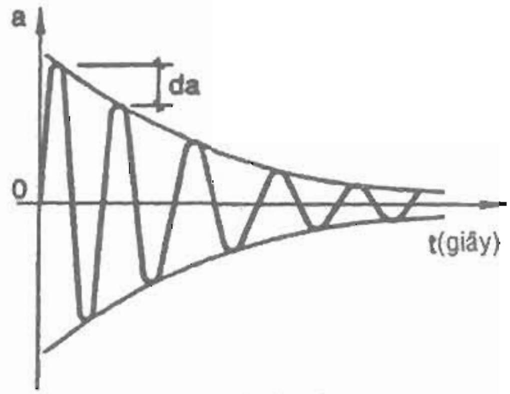
$X = a_0.e^{-\beta t}\cos(\omega.t + \varphi)$ là phương trình dao động tắt dần, **X** biến thiên tuần hoàn với chu kỳ $T = 2\pi/\omega$, với $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$

$a_0.e^{-\beta t} = a$ - biên độ của dao động tắt dần tại thời điểm t bất kỳ

a_0 - biên độ ban đầu, $\omega_0^2 = K/m$

$\beta = k/2m$ - hệ số tắt dần

e - cơ số logarit tự nhiên



Hình 1 - 4

b) Đồ thị của dao động tắt dần

Từ phương trình dao động tắt dần cho thấy đồ thị của **X** nội tiếp giữa 2 đường cong: $|a_0.e^{-\beta t}|$ (hình 1 - 5).

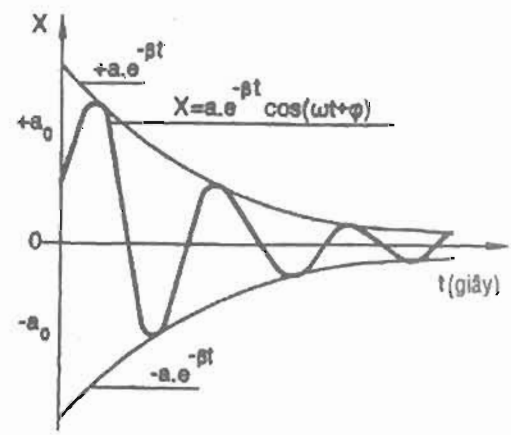
Khảo sát phương trình dao động tắt dần cho thấy:

Khi **t** → ∞, biên độ **a** → **0,** thực tế chỉ trong khoảnh khắc **a** → **0** vì khi **a** có kích thước phân tử (10^{-8}cm) dao động của hệ vật vĩ mô không còn ý nghĩa nữa.

Thông thường quan niệm năng lượng của dao động tắt dần do 2 nguyên nhân:

- Do tồn tại lực ma sát, năng lượng dao động chuyển dần thành nhiệt năng.

- Năng lượng dao động khuếch tán ra môi trường xung quanh do tương tác giữa các phần tử của môi trường đàn hồi chuyển thành năng lượng sóng.



Hình 1 - 5

7. Dao động cưỡng bức

Muốn duy trì dao động không bị tắt dần phải tác dụng vào hệ một ngoại lực tuần hoàn f_1 gọi là lực cưỡng bức, như vậy dao động thực hiện dưới 3 lực tác dụng đồng thời:

- Lực đàn hồi: $F = -K.X$

- Lực cản: $F_c = -r.v$

- Ngoại lực cưỡng bức tuần hoàn: $f_1 = H.\cos\omega t$

Trong đó:

H - biên độ dao động cưỡng bức;

$\omega = 2\pi f$ - tần số góc của lực cưỡng bức;

$T = \dfrac{2\pi}{\omega}$ - chu kỳ dao động của lực cưỡng bức.

Tổng hợp các lực tác dụng vào hệ dao động cưỡng bức:

$$F_{tp} = m.W = -K.X - r.v + H.\cos\omega t$$

Ta đã biết: $r/m = 2\beta$ và $\omega_0^2 = k/m$

Sau khi thay thế và biến đổi xác định được biên độ **a** của dao động cưỡng bức:

$$a = \frac{H}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\beta^2.\omega^2}}$$

Biểu thức cho thấy:

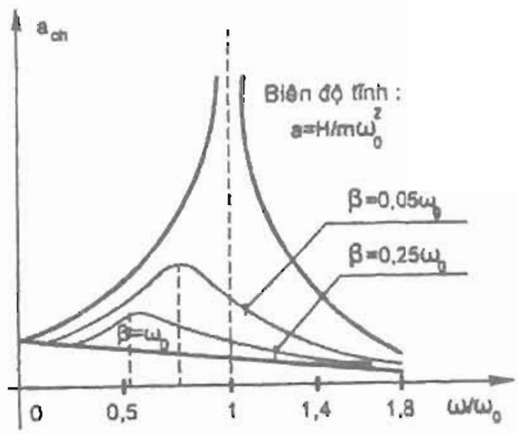
- Biên độ **a** tỷ lệ thuận với biên độ **H**.

- Tần số góc ω của lực cưỡng bức biến đổi, tần số riêng ω_0 của hệ không đổi biên độ **a** của dao động cưỡng bức cũng biến đổi.

- Biên độ **a** của dao động cưỡng bức lấy giá trị cực đại khi mẫu số:

$$\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\beta^2.\omega^2}$$

có giá trị cực tiểu.



Hình 1 - 6. Dao động cộng hưởng

Ta có: a_{max} - biên độ cộng hưởng:

$$a_{ch} = \frac{H}{m.2\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

Tần số góc của lực cưỡng bức khi có cộng hưởng:

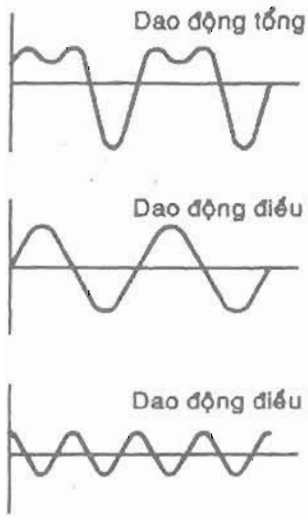
$$\omega_{ch} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

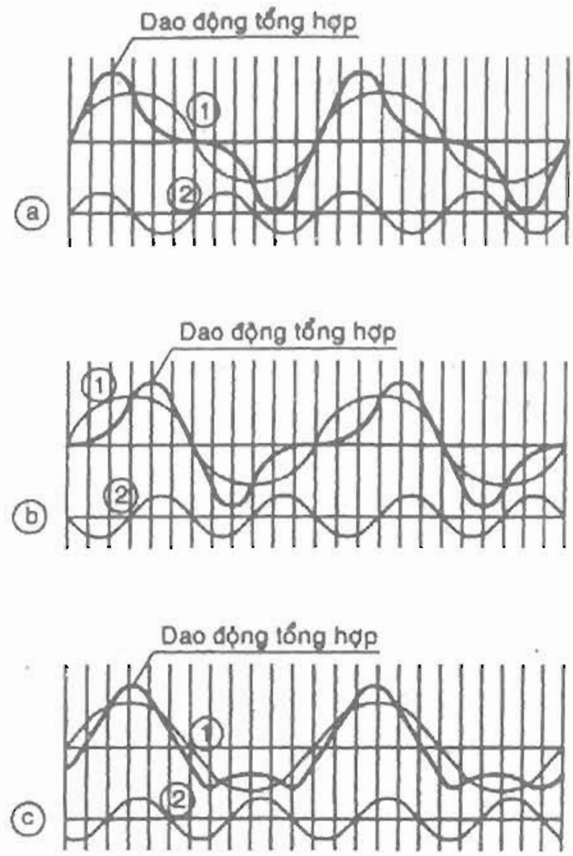
Khi qua điểm cộng hưởng, giá trị ω tăng, biên độ **a** của dao động cưỡng bức giảm, ω tăng càng nhanh, **a** càng giảm, khi đó biên độ hoàn toàn phụ thuộc khối lượng **m** của hệ (hình 1 - 6).

Khi ω tăng rất nhanh, nhưng quán tính của hệ quá lớn không thích ứng kịp, hệ đứng ì ra không dao động nữa. Trong công trình, lợi dụng đặc điểm này để chống rung và tiêu âm.

8. Phân tích tổng hợp dao động

Trong thực tế thường gặp những dao động phức tạp, vật lý chứng minh được rằng: một dao động phức tạp chu kỳ **T**, có thể phân tích thành những dao động điều hòa đơn giản chu kỳ T_0; **T/2**; **T/3**, tần số f, $2f$, $3f$, tần số góc ω; 2ω; 3ω v.v... ngược lại nhiều dao động điều hòa đơn giản có thể tổng hợp thành một dao động phức tạp (hình 1 – 7).





Hình 1. 7. Tổng hợp và phân tích dao động

a) Tổng hợp hai dao động hình sin pha ban đầu bằng **0**.

b) Tổng hợp hai dao động hình sin trễ pha bằng π

c) Tổng hợp hai dao động hình sin trễ pha bằng π/2

II. SÓNG CƠ

1. Sự hình thành sóng trong môi trường đàn hồi

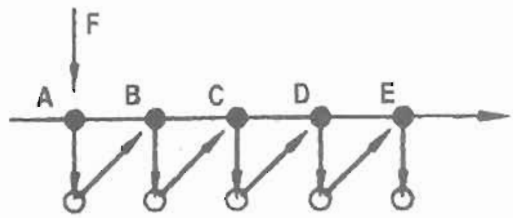
a) Định nghĩa môi trường đàn hồi

Các môi trường chất khí, chất lỏng và chất rắn là những môi trường đàn hồi.

Môi trường đàn hồi có thể coi là những môi trường liên tục gồm những phần tử liên kết chặt chẽ với nhau, lúc bình thường mỗi phần tử có một vị trí cân bằng bền.

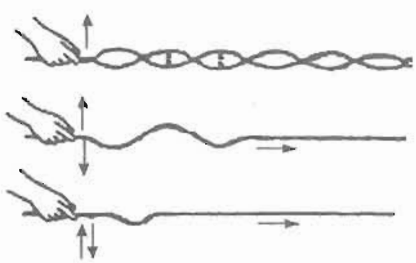
b) Sự hình thành sóng trong môi trường đàn hồi

Giả sử các phần tử **A**, **B**, **C**, **D** v. v... liên tục trong môi trường đàn hồi.



Hình 1 - 8. Sự hình thành sóng đàn hồi

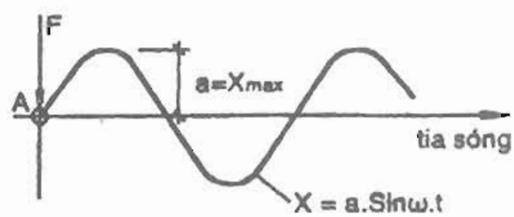
Do tính chất của môi trường đàn hồi cho nên nếu tác dụng lực **F** lên phần tử **A** của môi trường, phần tử này rời khỏi vị trí cân bằng bền, từ quan hệ tương tác, các phần tử lân cận, một mặt kéo phần tử **A** về vị trí cân bằng, mặt khác nhận một phần năng lượng của phần tử **A** truyền sang, do đó cũng dao động theo, hiện tượng này xảy ra liên tiếp tạo thành sóng (hình 1 - 8).



Hình 1 - 9. Một hình ảnh hình thành sóng

Sóng đàn hồi (sóng cơ) là sự lan truyền dao động trong môi trường đàn hồi. Sóng cơ không thể truyền được trong chân không, vì trong đó không có môi trường đàn hồi.

Cần lưu ý, trong khi lan truyền dao động, các phần tử của môi trường không di chuyển theo dao động lan truyền mà chỉ dao động quanh vị trí cân bằng của nó.



Hình 1 - 10. Tia sóng và biên độ sóng

Một hình ảnh hình thành sóng (hình 1 - 9):

- Một sợi dây căng thẳng. Kích động một đầu dây dao động, dao động này sẽ lan truyền theo chiều dọc của dây.

- Ném một viên đá xuống mặt nước yên tĩnh, tại chỗ bị kích động sẽ dao động và dao động này lan truyền từ miền này sang miền kia.

2. Một số khái niệm về sóng

- ***Nguồn sóng:*** ngoại lực gây ra kích động gọi là nguồn sóng.

- ***Tia sóng:*** là phương truyền sóng (hình 1 - 10).

- ***Trường sóng:*** là không gian lan truyền sóng.

- ***Mặt sóng:*** là mặt chứa những điểm (phần tử) có cùng pha (trạng thái) dao động, hay mặt sóng là quỹ tích những điểm dao động có cùng giá trị pha. Tia sóng luôn luôn vuông góc với mặt sóng.

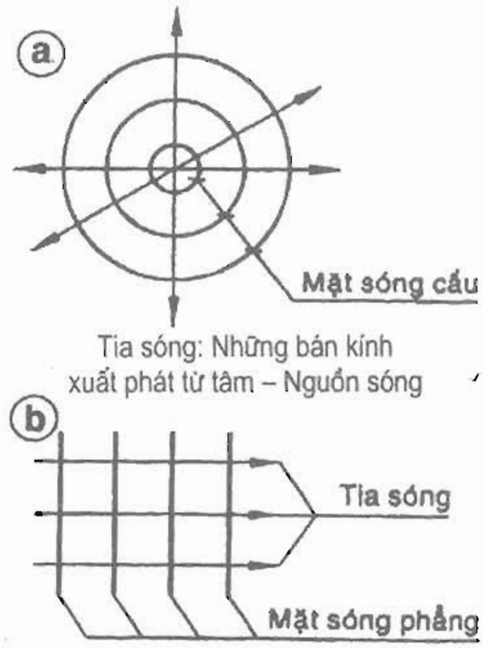
- ***Mặt đầu sóng:*** là mặt sóng giới hạn giữa phần môi trường sóng đã truyền qua và môi trường chưa bị kích động.

- ***Sóng cầu:*** mặt sóng là những mặt cầu phân bố đều trong không gian, tâm là nguồn sóng (hình 1 - 11a). Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng sẽ có sóng cầu. Đối với sóng cầu tia sóng trùng với bán kính của mặt cầu.

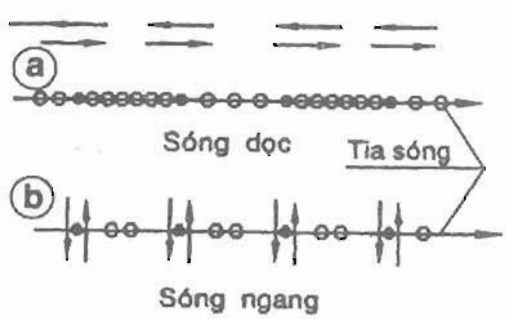
- ***Sóng phẳng:*** mặt sóng là những mặt phẳng song song với nhau, tia sóng vuông góc với mặt sóng. Nếu nguồn sóng ở rất xa phần môi trường đang xét, mặt sóng có thể coi là những mặt phẳng song song (hình 1 - 11b).

- ***Sóng dọc:*** là sóng trong đó các phần tử môi trường dao động quanh vị trí cân bằng trên phương trùng với tia sóng (hình 1 - 12a). Khi có sóng dọc, trên phương của tia sóng các phần tử môi trường khi bị nén chặt khi dãn loãng, làm cho các phần tử môi trường chỗ dày chỗ thưa.

- ***Sóng ngang:*** là sóng trong đó các phần tử của môi trường dao động quanh vị trí cân bằng trên phương vuông góc với tia sóng (hình 1 - 12b).



Hình 1 - 11. Sóng cầu - sóng phẳng



Hình 1 - 12. Sóng dọc - Sóng ngang

- ***Nguyên nhân gây ra sóng ngang và sóng dọc:***

Tùy tính chất của môi trường đàn hồi trong đó có thể xuất hiện sóng ngang hay sóng dọc.

Khi một lớp môi trường bị lệch đối với lớp khác làm xuất hiện các lực đàn hồi có xu hướng kéo lớp bị lệch về vị trí cân bằng, trong môi trường đó có thể truyền được sóng ngang. Vật rắn là môi trường có tính chất đó.

Nếu trong môi trường, không có các lực đàn hồi xuất hiện khi các lớp song song bị lệch đối với nhau, sóng ngang không thể hình thành được, chất lỏng và chất khí là những môi trường đó.

Khi bị biến dạng nén hay căng trong môi trường có các lực đàn hồi xuất hiện, trong môi trường đó có thể truyền được sóng dọc. Chẳng hạn khi bị nén, chất lỏng hay chất khí sẽ tăng áp suất, lực nén giữ vai trò của lực đàn hồi.

Như vậy, trong chất lỏng và chất khí chỉ có sóng dọc truyền được, còn trong chất rắn có thể truyền được cả hai loại sóng.

3. Các đặc trưng của sóng

a) Vận tốc truyền sóng (C):

Là quãng đường lan truyền dao động trong đơn vị thời gian.

$$C = X/t \quad (m/s)$$

Trong khí quyển, vận tốc truyền sóng phụ thuộc vào nhiệt độ (t^oC) của không khí:

$$C = 330 + 0,6.t \quad (m/s)$$

Trong đó: 330 m/s là vận tốc truyền sóng ở 0^oC.

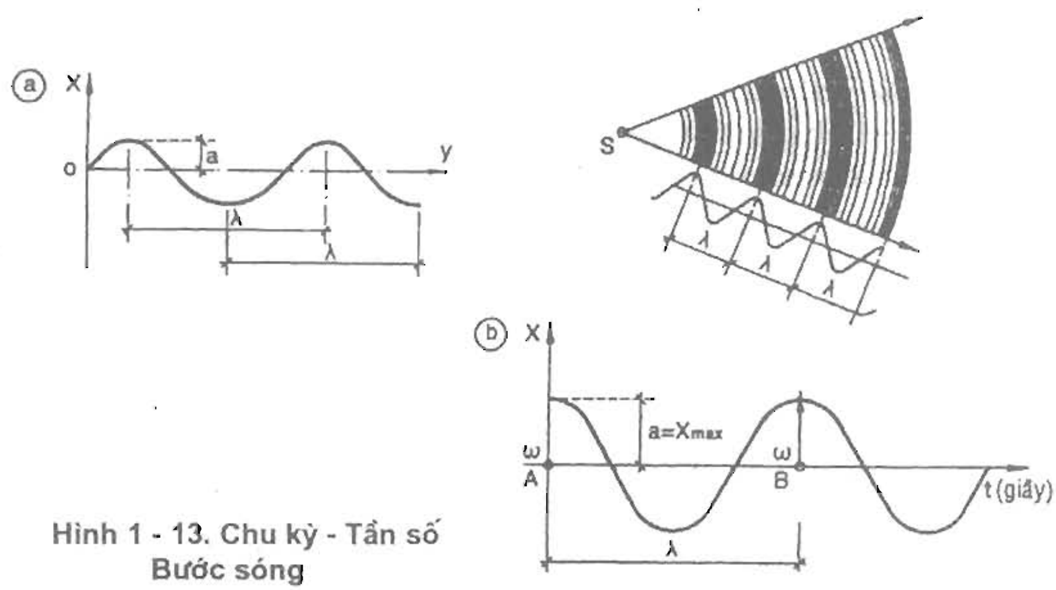
Như vậy khi nhiệt độ thay đổi 1^oC, vận tốc sóng tăng thêm 0,6 m/s.

b) Bước sóng (λ):

Là quãng đường lan truyền sóng sau thời gian bằng một chu kỳ T (hình 1 - 13a). Như vậy λ là khoảng cách nhỏ nhất giữa các phần tử dao động cùng pha. Theo định nghĩa ta có:

$$\lambda = C.T \quad (mét)$$

c) Chu kỳ và tần số:



Hình 1 - 13. Chu kỳ - Tần số Bước sóng

Chu kỳ T - thời gian cần thiết để sóng truyền được một bước sóng λ.

Tần số f - số chu kỳ thực hiện được trong giây.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{số chu kỳ/s (Hz)}$$

Như vậy T và f của sóng là T và f của phần tử dao động trong trường sóng. Còn vận tốc truyền sóng là vận tốc truyền một pha dao động (một trạng thái dao động), chẳng hạn tại thời

điểm t = 0, điểm **A** (hình 1 - 13b) nhận được trạng thái ban đầu, sau thời gian t = T điểm **B** cách **A** một quãng bằng λ lại có trạng thái ban đầu đó, cho nên:

$$\lambda = C.T, \qquad C = \frac{\lambda}{T}, \qquad \text{Do đó } \lambda = \frac{C}{f}$$

Đối với sóng cầu, bán kính mặt đầu sóng **R** là khoảng cách mà các dao động lan truyền sau thời gian **t**, ở thời điểm **t = 0** nằm tại tâm dao động (nguồn sóng), do đó bán kính mặt đầu sóng:

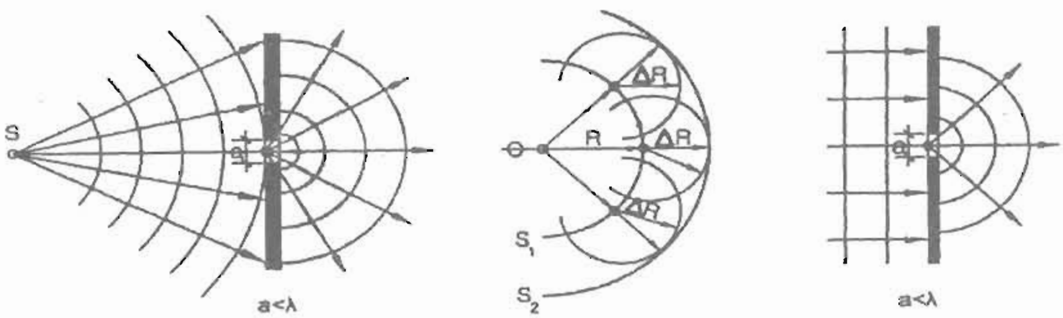
$$R = C.t$$

4. Nguyên lý Huy - Ghen

Quan sát nhiều sóng có dạng bất kỳ truyền đi trên mặt nước, cho thấy: nếu trên đường lan truyền gặp vật cản **A** sóng sẽ phản xạ lại. Nếu trên **A** có một lỗ nhỏ **a**, kích thước nhỏ hơn bước sóng λ (**a** < λ) sóng sẽ truyền qua lỗ **a** (hình 1 - 14), mặt sóng là những mặt bán cầu, tâm tại **a** như một tâm dao động mới, từ đó các dao động truyền tới trước theo mọi hướng. Hiện tượng này chứng tỏ rằng: mỗi một điểm của môi trường trên mặt đầu sóng có thể xem như một nguồn dao động mới, phát ra những sóng con gọi là sóng thứ cấp.

Từ nhận xét đó năm 1860 Huy - Ghen đã đưa ra nguyên lý sau đây:

*Những sóng từ nguồn **0** truyền ra ngoài mặt kín **S** có tính chất giống hệt những sóng mà ta sẽ có nếu bỏ nguồn **0** và thay bằng nguồn phụ thích hợp phân bố đều trên mặt **S**, những nguồn phụ này gọi là nguồn thứ cấp.*



Sự nhiễu xạ của sóng cầu — **Dựng mặt sóng** — **Sự nhiễu xạ của sóng phẳng**

Hình 1 - 14. Nguyên lý Huy - Ghen

5. Ứng dụng nguyên lý Huy - Ghen

a) Vẽ mặt sóng cầu:

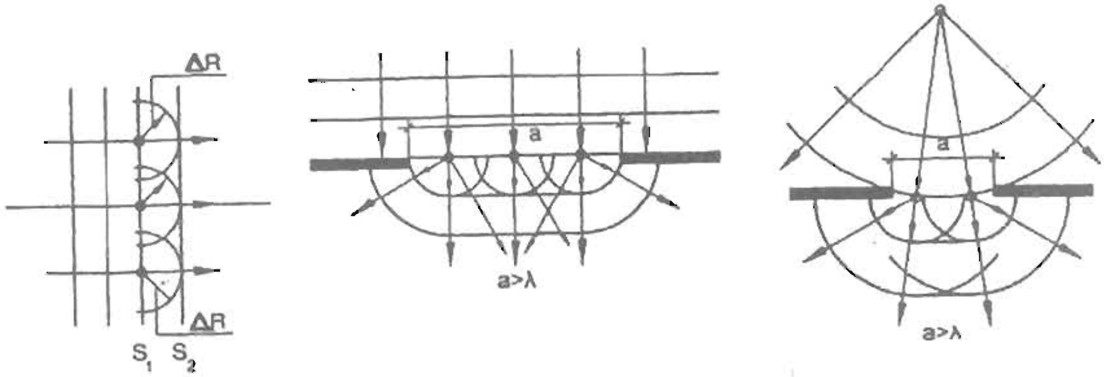
Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng, nguồn sóng **0** phát ra sóng cầu, tại thời điểm **t**, mặt sóng S_1. Xác định mặt sóng tại thời điểm $t + \Delta t$?

Theo nguyên lý Huy - Ghen, coi mặt sóng S_1 chứa các nguồn thứ cấp, phát ra sóng thứ cấp, bán kính các sóng thứ cấp ΔR trong thời gian Δt bằng:

$$\Delta R = C.\Delta t$$

Mặt cầu bao các mặt sóng thứ cấp là mặt sóng S_2 tại thời điểm **(t + Δt)** cần tìm (hình 1 - 15).

Cách vẽ mặt sóng phẳng cũng tương tự.



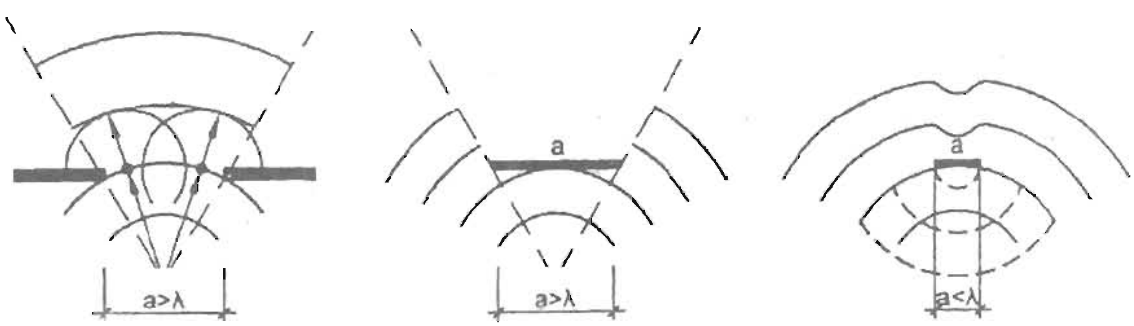
Hình 1 - 15. Ứng dụng nguyên lý Huy - Ghen

b) Hiện tượng nhiễu xạ sóng

Là hiện tượng các tia sóng đổi phương truyền khi qua chướng ngại. Giả sử có một sóng phẳng truyền tới vật cản **A**, trên **A** có một lỗ **a** kích thước lớn hơn bước sóng λ của sóng tới. Khi đó tại lỗ **a**, những điểm trên mặt đầu sóng sẽ là những nguồn thứ cấp, sóng thứ cấp của những nguồn này truyền qua lỗ **a** tới trước. Bao các mặt sóng này sẽ có mặt sóng qua lỗ **a** (hình 1 - 15).

Sau lỗ **a** mặt sóng không còn là mặt phẳng nữa, chỉ còn phần giữa lỗ **a**, mặt sóng có dạng của sóng tới, tại các bờ, mặt sóng uốn cong gây hiện tượng nhiễu xạ sóng.

Lỗ **a** càng nhỏ, tia sóng đổi phương càng nhiều, nếu lỗ **a** < λ tại **a** chỉ có 1 tâm dao động phát ra sóng cầu. Ứng dụng nguyên lý này có thể vẽ được mặt sóng sau vật cản bất kỳ (hình 1 - 16).

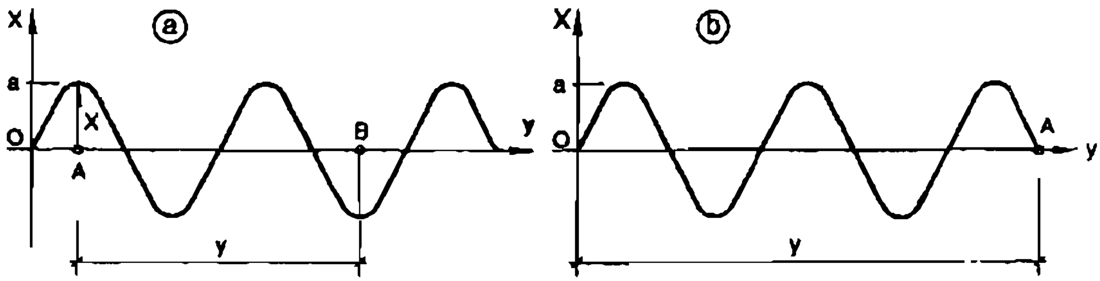


Hình 1 - 16

6. Phương trình sóng

Giả sử sóng phẳng truyền dọc theo phương **Oy**, vận tốc **C** (hình 1 - 17).

Phương trình sóng biểu thị mối quan hệ giữa độ chuyển dời **X** của phần tử dao động kể từ vị trí cân bằng với thời gian **t** và khoảng cách **y** giữa các vị trí cân bằng trên phương truyền sóng: $X = f(t, y)$.



Hình 1 - 17

- ***Sóng phẳng*** (hình 1 - 17b):

Phương truyền sóng **Oy**, nguồn sóng tại **O** (gốc tọa độ), dao động theo luật:

$$X = a.\cos\omega\,(t - y/C)$$

Là phương trình sóng truyền theo phương **Oy** với vận tốc **C**.

Độ chuyển dời **X** của **A** là hàm của thời gian **t** và khoảng cách **y** tính từ tâm dao động **O**, nếu có sóng truyền theo phương ngược lại, **y** thay bằng **(−y)**:

$$X = a.\cos\omega\,(t + y/C)$$

- ***Sóng cầu:***

Lý thuyết chứng minh được rằng, biên độ sóng tỷ lệ nghịch với bán kính truyền sóng **R**.

$$X = \frac{a}{R}\cos\omega\left(t - \frac{R}{C}\right)$$

Như vậy các sóng biểu diễn qua **X** đều tuần hoàn theo thời gian với chu kỳ $T = 2\pi/\omega$, tuần hoàn theo không gian với chu kỳ $\lambda = C.T$.

Độ chuyển dời **X** của các phần tử dao động trong trường sóng phụ thuộc vào khoảng cách **y** tới nguồn.

7. Năng lượng sóng E

Khi dao động sóng truyền đi, các phần tử của môi trường nhận được năng lượng từ nguồn lan truyền tới nên dao động, do đó có động năng; đồng thời phần tử này rời khỏi vị trí cân bằng của nó nên có thế năng (thế năng đàn hồi). Vì vậy khi dao động sóng truyền đi, trong môi trường lớp này kéo theo lớp kia liên tiếp dao động, năng lượng cũng liên tiếp truyền từ lớp này qua lớp kia trong môi trường.

Giả sử xét một nguyên tố thể tích ΔV của môi trường, khi sóng tới, một mặt ΔV bị kích động phải dao động nên có động năng E_d mặt khác ΔV bị lệch khỏi vị trí cân bằng nên có thế năng E_t. Năng lượng toàn phần của ΔV:

$$E = E_d + E_t$$

Năng lượng sóng gửi trong ΔV luôn luôn thay đổi theo thời gian **t**, qua nửa chu kỳ, năng lượng này lấy lại giá trị ban đầu, vì rằng giá trị trung bình của bình phương một sin trong chu kỳ bằng $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$ do đó năng lượng trung bình trong một chu kỳ bằng:

$$E_{tb} = \frac{1}{2}\rho.\Delta V.\omega^2.a^2$$

8. Mật độ năng lượng sóng $\bar{E}$

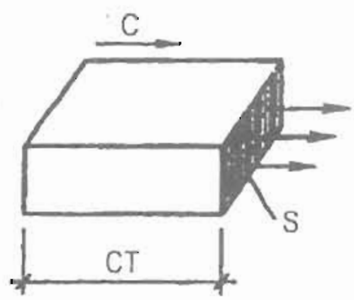
Là phần năng lượng sóng chứa trong đơn vị thể tích ΔV của môi trường có sóng:

$$\bar{E}_{tb} = \frac{E_{tb}}{\Delta V} = \frac{1}{2}\rho.\omega^2.a^2$$

9. Năng thông sóng $\bar{P}$

Vì rằng năng lượng sóng lan truyền trong môi trường, không định xứ tại bất kỳ đơn vị thể tích ΔV nào của môi trường cho nên đưa vào đại lượng năng thông sóng.

*Số lượng năng lượng dao động đi qua mặt **S** vuông góc với phương truyền sóng trong đơn vị thời gian gọi là năng thông sóng (hình 1 - 18).*



Hình 1 - 18

Giả sử có mặt **S** vuông góc với vận tốc **C**, số lượng năng lượng dao động đi qua mặt này trong một chu kỳ **T** bằng:

$$E = \bar{E}.V = \bar{E}\ (SCT)$$

Năng thông sóng trung bình đi qua mặt **S** trong thời gian **T**:

$$\bar{P} = \frac{\bar{E}.V}{T} = \frac{\bar{E}(SCT)}{T} = \bar{E}.S.C$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2}.\rho.\omega^2.a^2.C.S$$

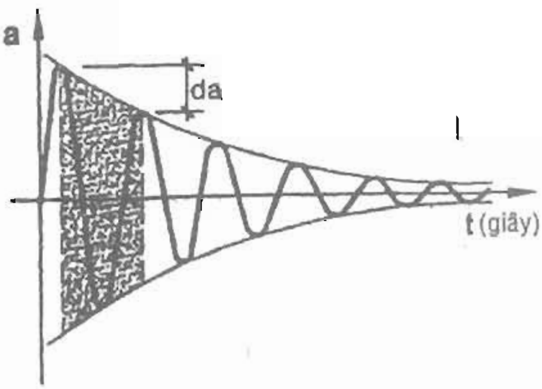
Năng thông sóng trung bình đi qua đơn vị diện tích, gọi là mật độ năng thông sóng trung bình **U**:

$$U = \frac{\bar{P}}{S} = \bar{E}.C$$

10. Sóng tắt dần

Năng lượng E_{tb}, $\bar{E}_{tb}$ và U của sóng trên đây chỉ tồn tại trong môi trường không có hấp thu, năng lượng của quá trình sóng không chuyển thành một dạng năng lượng nào khác.

Thực tế, năng lượng của dao động sóng sẽ chuyển một phần thành nội năng để thắng lực ma sát trong môi trường, do đó năng lượng toàn phần do sóng mang đi sẽ giảm dần theo khoảng cách đến nguồn. Mặt sóng càng xa nguồn, năng lượng càng giảm, biên độ **a** của dao động càng nhỏ (hình 1 - 19).



Hình 1 - 19. Dao động tắt dần

Giả sử sóng truyền qua một lớp môi trường dày **dy**, độ giảm tương đối của biên độ a:

$$-\frac{da}{a} \text{ tỷ lệ với } dy \text{ và } -\frac{da}{a} = K.dy$$

K - hệ số tỷ lệ phụ thuộc bản chất của môi trường.

Biên độ tắt dần theo quy luật:

$$a_y = a_0 e^{-Ky}$$

a_0 - biên độ ban đầu tại y = 0

a_y - biên độ tại khoảng cách y

Đặt $\alpha = 2K$ - gọi là hệ số hấp thu:

$$\bar{E}_y = \bar{E}_0 e^{-\alpha y}$$

$\bar{E}_0$ - mật độ năng lượng ban đầu tại **y = 0**

$\bar{E}_y$ - mật độ năng lượng tại khoảng cách **y**.

11. Sự giao thoa của sóng

Là sự gặp nhau của nhiều sóng.

Trong một môi trường có thể truyền đồng thời nhiều sóng xuất phát từ những tâm dao động khác nhau, chẳng hạn trong phòng khán giả bố trí nhiều loa phóng đại tiếng nói của diễn viên, khi đó mỗi loa là một tâm phát sóng, ngoài ra cũng có vô số sóng phản xạ từ các bề mặt giới hạn của phòng, hình thành trường giao thoa của nhiều sóng.

Trong trường giao thoa sóng có 2 đặc điểm đáng lưu ý:

- Tính độc lập của các sóng gọi là nguyên lý độc lập của các sóng

- Sự tổng hợp của các sóng

Các hệ sóng xuất phát từ những nguồn khác nhau, gặp nhau tại một miền nào đó rồi phân ly ra, mỗi sóng tiếp tục truyền đi trên phương của nó như không gặp sóng kia, tính chất này của sóng gọi là nguyên lý độc lập của sóng, rất đặc biệt của quá trình truyền sóng.

Trong trường giao thoa, các sóng chồng chất lên nhau và xảy ra sự tổng hợp sóng. Kết quả những điểm nào đó do tổng hợp các dao động cùng pha sẽ mạnh lên. Ngược lại những điểm nào đó do tổng hợp các dao động khác pha sẽ cho một dao động tổng hợp yếu đi.

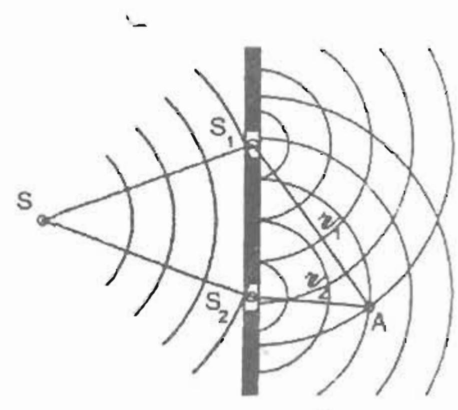
Quan trọng nhất là các nguồn thực hiện dao động cùng tần số, cùng phương và cùng pha hay có hiệu số pha không đổi, gọi là các nguồn kết hợp, khi đó tại mỗi điểm của môi trường, dao động tổng hợp có biên độ không đổi theo thời gian và phụ thuộc vào khoảng cách từ điểm này đến các nguồn dao động. Các nguồn kết hợp có cùng biên độ, cùng pha gọi là các nguồn đồng bộ. Nghe âm phóng đại qua hệ thống loa là nghe âm từ các nguồn đồng bộ.

Ta có nguồn đồng bộ theo cách sau (hình 1 - 20):

Giả sử có nguồn **S** phát ra sóng cầu. Trên đường đi của sóng, đặt vật cản **BB**. Trên **BB** có 2 lỗ điểm S_1 và S_2 đối xứng với **S**, theo nguyên lý Huy - Ghen, các lỗ S_1, S_2 trở thành các nguồn độc lập dao động cùng biên độ cùng pha..

Bên kia **BB** sẽ có hai hệ sóng cầu truyền đi. Tại mỗi điểm của môi trường xuất hiện dao động tổng hợp của hai sóng này.

Khảo sát dao động tại điểm **A** cách nguồn S_1, S_2 những khoảng cách tương ứng d_1, d_2. Những dao động tới **A** với hiệu số pha $\Delta\varphi$ phụ thuộc vào hiệu số đường đi d_1, d_2.



Hình 1 - 20. Nguồn đồng bộ

Sẽ có $a_{max} = a_1 + a_2$:

$$|d_2 - d_1| = K\lambda \qquad \text{(với } K = 0, 1, 2,...)$$

Như vậy, sẽ có a_{max} khi $(d_2 - d_1) = 0$ hoặc một số nguyên chiều dài bước sóng λ.

Sẽ có $a_{min} = a_1 - a_2$:

$$|d_2 - d_1| = (2K + 1).\ \lambda/2$$

Như vậy, a_{min} xuất hiện khi $(d_2 - d_1)$ bằng một số lẻ $\lambda/2$.

Rõ ràng, khi hiệu số đường đi trong khoảng từ **Kλ** và **(2K + 1).λ/2** các dao động tổng hợp hoặc mạnh thêm lên hoặc yếu đi. Cho nên do sự chồng lên nhau của hai sóng, trong môi trường sẽ có các dao động tổng hợp xuất hiện, biên độ tổng hợp có thể lấy giá trị cực đại, cực tiểu hoặc là lấy giá trị trung bình tùy thuộc hiệu số đường đi từ điểm khảo sát tới các nguồn đồng bộ.

Hai điểm nguồn S_1, S_2 là hình ảnh của hai loa phóng đại âm tự nhiên.

12. Sự khúc xạ và phản xạ của sóng

a) Sự khúc xạ sóng:

Là sự đổi phương truyền sóng.

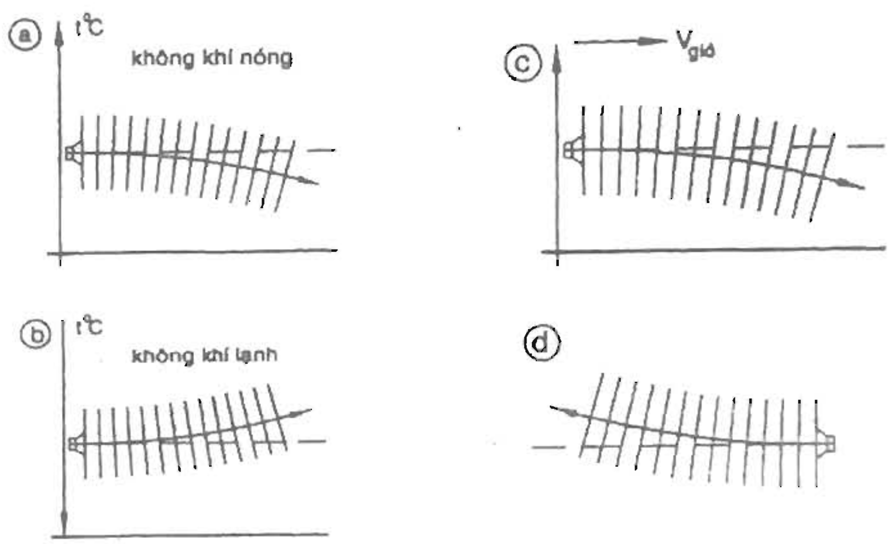
Khi sóng truyền từ môi trường này sang môi trường khác, do tính chất của môi trường thay đổi nên khi tới mặt phân cách của hai môi trường, phương truyền sóng sẽ thay đổi, gây nên hiện tượng khúc xạ và nhiễu xạ sóng.

- ***Hiện tượng khúc xạ sóng khi nhiệt độ môi trường biến thiên***

Vận tốc truyền sóng **C** phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường:

$$C = 330 + 0,6t$$

Nhiệt độ tăng 1°C vận tốc **C** của sóng tăng 0,6m/s. Vì vậy, khi sóng truyền trong môi trường không khí trên mặt đất, nếu nhiệt độ tăng dần theo chiều cao cách mặt đất, vận tốc truyền sóng sẽ tăng dần theo chiều cao, do đó mặt sóng có xu hướng nghiêng dần xuống mặt đất, phương truyền sóng uốn cong xuống thấp (hình 1 - 21a).



Hình 1 - 21. Sự khúc xạ sóng

Khi nhiệt độ không khí giảm dần theo chiều cao cách mặt đất, vận tốc sóng sẽ giảm dần theo chiều cao, do đó mặt sóng có xu hướng ngửa dần và phương truyền sóng hướng lên cao, xa dần mặt đất (hình 1 - 21b).

Hiện tượng tia sóng uốn cong lên cao thường thấy trong ngày nắng, uốn cong xuống thấp thường thấy về buổi sáng và đêm.

Khi sóng uốn cong xuống thấp, khoảng cách nhận được năng lượng sóng xa hơn khi uốn cong lên cao. Hiện tượng này có ý nghĩa đặc biệt khi thiết kế nhà hát ngoài trời.

• *Khúc xạ sóng do gió*

Truyền âm trong môi trường có gió cũng giống như con thuyền đi trên dòng sông, khi xuôi dòng vận tốc của con thuyền bằng tổng của hai vận tốc: vận tốc của thuyền và vận tốc gió. Khi ngược dòng, vận tốc của con thuyền bằng hiệu của hai vận tốc trên.

Trong môi trường, vận tốc gió tăng theo chiều cao cách mặt đất:

- Vận tốc sóng truyền theo chiều gió, cách mặt đất càng cao càng nhanh, phương truyền sóng có xu hướng áp sát mặt đất (hình 1 - 21c).

- Vận tốc sóng truyền ngược chiều gió, phương truyền sóng có xu hướng rời xa mặt đất (hình 1 - 21d).

b) Sự phản xạ của sóng

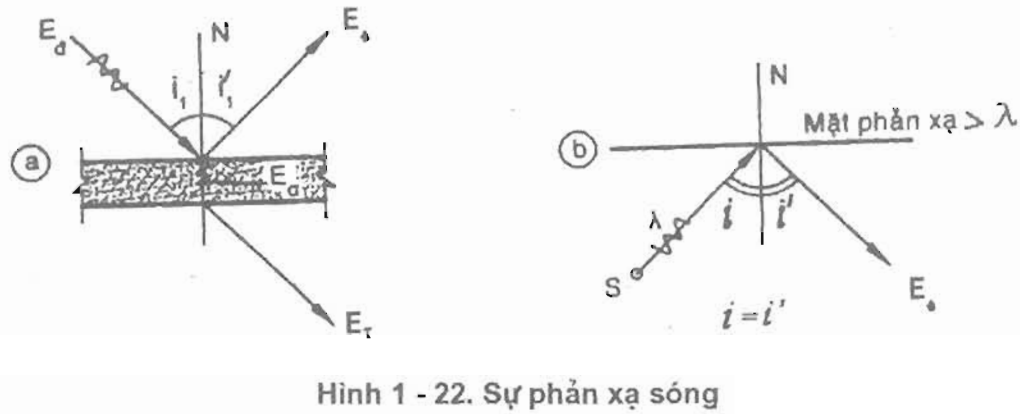
Theo vật lý: khi sóng tới trên một bề mặt sẽ có một bộ phận bị hấp thu, một bộ phận xuyên qua và một bộ phận phản xạ. Sóng phản xạ có thể định hướng hoặc khuyếch tán tùy kích thước và tính chất của mặt phản xạ (hình 1 - 22a).

Khi kích thước của mặt phản xạ lớn hơn chiều dài bước sóng của sóng tới, sóng phản xạ định hướng và tuân theo định luật quang hình học:

- Góc tới i_1 bằng góc phản xạ i_1'.

- Tia tới, tia phản xạ và pháp tuyến **N** của mặt phản xạ cùng nằm trong một mặt phẳng vuông góc với mặt phản xạ (hình 1 - 22b).

Nhờ định luật này để thiết kế mặt phản xạ âm và xử lý hình dáng, cấu trúc trang âm các bề mặt trong phòng.



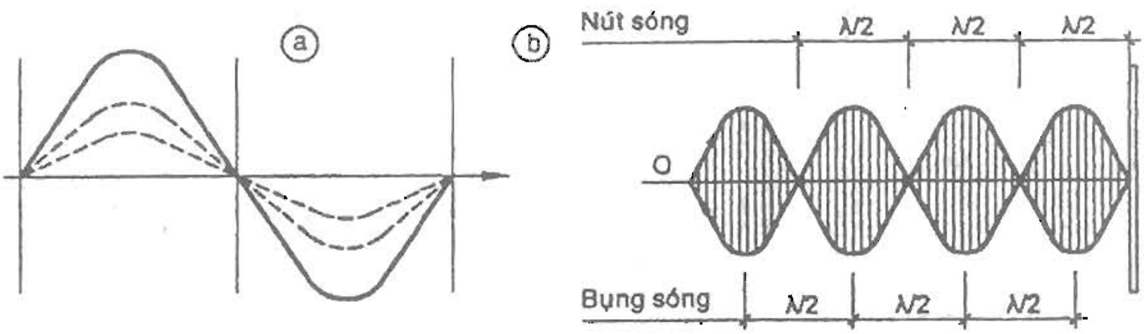
Hình 1 - 22. Sự phản xạ sóng

13. Sóng đứng

Sóng đứng là một trường hợp đặc biệt về sự giao thoa của 2 sóng.

Thường sóng đứng hình thành do sự chồng lên nhau của hai sóng phẳng có biên độ và tần số như nhau, truyền theo cùng phương nhưng ngược chiều nhau, các phần tử dao động có cùng vị trí cân bằng.

Giao thoa của hai sóng cùng tần số cùng pha cho một sóng tổng hợp cùng tần số, nhưng biên độ tăng gấp đôi (hình 1 - 23a). Hai sóng cùng tần số, hiệu số pha π (hiệu số đường truyền bằng $\lambda/2$) triệt tiêu nhau khi biên độ bằng nhau (hình 1 - 23b).



Hình 1 - 23. Sóng đứng

Trong kiến trúc, sóng đứng hình thành do sóng tới và sóng phản xạ trở lại.

Chẳng hạn khi sóng tới trên mặt tường cứng nhẵn, lớp không khí mỏng trên mặt tường bị nén không xê dịch được, đóng vai trò như một lò xo, đẩy sóng phản xạ ra. Ngọn sóng (hoặc rãnh sóng) phản xạ sẽ gặp rãnh sóng (hoặc ngọn sóng) của sóng tới, các biên độ triệt tiêu nhau. Đối với một sóng có tần số nào đó sẽ hình thành những nút sóng ở những chỗ các biên độ triệt tiêu nhau, còn những chỗ rãnh sóng gặp rãnh sóng hoặc ngọn sóng gặp ngọn sóng biên độ tổng hợp sẽ tăng lên gấp bội.

Tại bờ phản xạ có thể là một nút sóng hoặc một bụng sóng phụ thuộc vào tỷ số các khối lượng riêng của hai môi trường. Lý thuyết đàn hồi đã chứng minh được rằng: nếu môi trường từ đó sóng phản xạ có khối lượng riêng lớn hơn khối lượng riêng của môi trường sóng tới, trên bờ phản xạ là một nút, ngược lại là một bụng.

Sự tạo thành nút sóng trên bờ phản xạ đặc và cứng là do sự đổi pha ngược lại trên bề mặt cứng, thành thử trên mặt phản xạ, các dao động ngược pha chồng lên nhau, triệt tiêu nhau, hình thành nút sóng.

Vì rằng sự đổi pha ngược lại phải qua nửa bước sóng ($\lambda/2$) cho nên gọi là hiện tượng mất nửa sóng.

Phản xạ từ môi trường nhẹ hơn, tại bờ phản xạ sóng không đổi pha, không mất nửa sóng, trên mặt phản xạ là một bung sóng.

Sóng đứng là cơ sở để thiết lập tần số dao động riêng và hiện tượng cộng hưởng trong phòng.

Khảo sát hiện tượng sóng đứng:

• Giả sử có hai sóng phẳng cùng biên độ, một sóng truyền theo phương **y**, một sóng truyền ngược lại (hình 1-23)

• Ở gốc tọa độ, hai sóng gặp nhau cùng pha, để đơn giản, pha ban đầu của hai sóng đều bằng 0

Kết quả khảo sát cho thấy, tần số của dao động tổng hợp cùng tần số với các dao động thành phần

Biên độ **A** của dao động tổng hợp luôn luôn dương, và phụ thuộc vào tọa độ **y** - đây là đặc điểm của sóng đứng

Những điểm trên phương truyền sóng có biên độ tổng hợp **A** bằng tổng của hai biên độ thành phần gọi là bung sóng. Những điểm có **A = 0**, gọi là nút sóng

+ Ta có A_{max}

Tại: $y = \pm K.\dfrac{\lambda}{2}$ là tọa độ các bung, (với **K = 0, 1, 2,...**)

Các bụng kề nhau $y_{K+1} - y_K = \dfrac{\lambda}{2}$

A = 0 tại: $y = \pm(2K+1).\dfrac{\lambda}{4}$ là tọa độ các nút sóng

Các nút kề nhau

$$y_{K+1} - y_K = [(2K+1)+1].\frac{\lambda}{4} - (2K+1).\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$$

Khoảng cách giữa các nút và bụng kề nhau

$$(2K+1).\frac{\lambda}{4} - K\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{4}$$

Trong phòng nếu từ nguồn âm đến mặt tường đối diện khoảng cách **L**, sóng đứng sẽ xuất hiện khi:

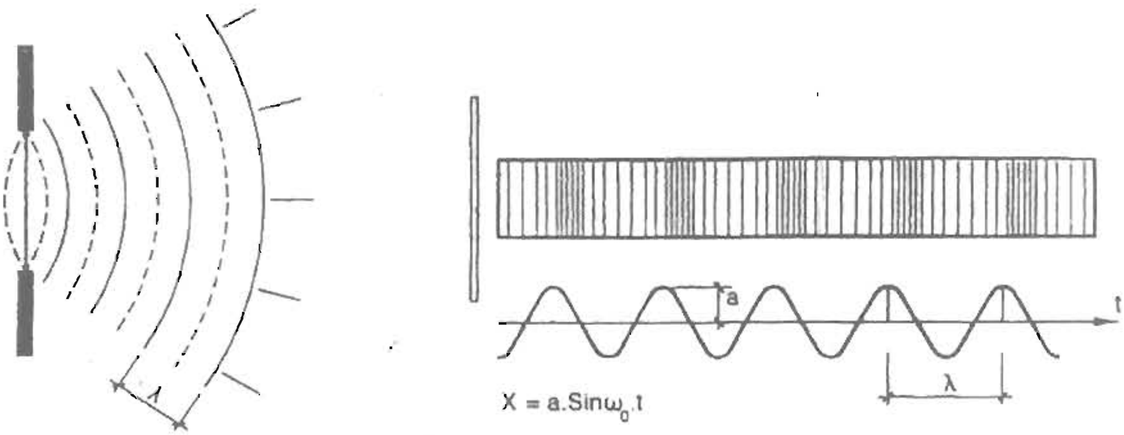
$$L = K\frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2L}{K} = C/f \rightarrow f = \frac{C}{2}\left(\frac{K}{L}\right)\ \text{(Hz)}$$

Sóng nào thoả mãn điều kiện này mới hình thành sóng đứng trên phương **L**

III. SÓNG ÂM

1. Dao động âm và sự truyền dao động âm

Sóng âm là sóng cơ (sóng đàn hồi) có biên độ dao động thính giác nhận biết được. Thí dụ dao động sóng phát ra từ một dây đàn, một mặt trống... đang rung động (hình 1 - 24), vì là sóng đàn hồi nên mọi khái niệm và hiện tượng về dao động sóng đàn hồi trên đây đều áp dụng cho sóng âm.



Hình 1 - 24. Dao động âm

Trong không khí cũng như trong mọi chất khí khác, những dao động đàn hồi truyền đi dưới dạng sóng dọc, khi đến tai người những dao động đàn hồi có tần số từ 16 đến 20.000 (Hz) sẽ gây cảm giác đặc biệt về âm.

Các dao động đàn hồi tần số f > 20.000(Hz) là sóng siêu âm.

Các dao động đàn hồi tần số f < 16(Hz) là sóng hạ âm.

Sóng siêu âm và sóng hạ âm đều không nghe được.

Mỗi âm có tần số riêng, đơn vị của tần số tính bằng hec (Hz) với định nghĩa như đã nói trong phần sóng cơ: Héc là tần số của một quá trình dao động âm trong đó mỗi giây (**s**) thực hiện được một dao động toàn phần.

1 héc = 1 dao động toàn phần/giây

Một quá trình dao động, cứ 1 giây (**s**) thực hiện được 2 dao động tần số là 2 héc (Hz), một giây thực hiện được 10 dao động tần số là 10 héc (Hz).

Việc phân chia sóng hạ âm, siêu âm và sóng âm (âm thanh) liên quan tới đặc điểm sinh lý của thính giác, còn theo vật lý đơn thuần các dao động sóng tần số f < 16 (Hz) hay f > 20.000(Hz) và 16 (Hz) < f < 20.000 (Hz) không có sự khác biệt đó. Cho nên trong vật lý, khi nói ***"dao động âm"*** tức là nói các dao động đàn hồi tổng quát truyền dưới dạng một quá trình sóng trong môi trường đàn hồi (hình 1 - 24).

Không khí là môi trường cơ bản để truyền các dao động âm đến tai người, vận tốc truyền âm trong không khí phụ thuộc vào nhiệt độ (t°C), áp suất khí quyển (B), khối lượng riêng (ρ) của không khí.

$$C = \sqrt{1{,}4.\frac{B}{\rho}} \quad (m/s)$$

Trong đó: $$1{,}4 = \frac{C_p}{C_v}$$

C_p, C_v - tỷ nhiệt đẳng áp, tỷ nhiệt đẳng tích của không khí.

Thực tế vận tốc truyền âm trong không khí như trên đây đã nói có thể xác định gần đúng bằng:

$$C = 330 + 0{,}6.t \quad (m/s)$$

2. Sự phản xạ và hấp thu sóng âm

Khi sóng âm tới mặt phân cách giữa hai môi trường một phần bị phản xạ, một phần bị hấp thu và một phần xuyên qua, tiếp tục truyền đi (hình 1 - 25).

Trong mọi môi trường, sóng âm truyền đi sẽ tắt dần vì năng lượng âm chuyển thành các dạng năng lượng khác.

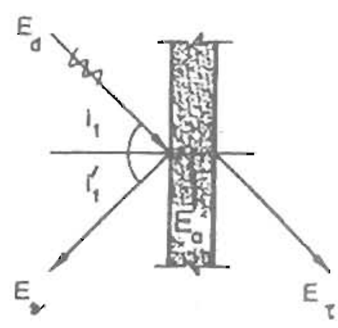
Hiện tượng phản xạ và hấp thu sóng âm có vai trò đặc biệt trong các phòng kín. Do khả năng phản xạ qua lại nhiều lần của sóng âm giữa các bề mặt trong phòng khi năng lượng âm còn trên ngưỡng nghe, cho nên có thể nghe âm kéo dài thêm vài giây sau khi nguồn âm ngừng tác dụng. Hiện tượng âm kéo dài sau khi nguồn âm ngừng tác dụng gọi là âm vang. Nếu âm vang quá dài mỗi phần mới của lời nói sẽ bị âm vang của lời nói trước che phủ, kết quả nghe không rõ. Tuy nhiên sự tắt dần quá nhanh, âm vang quá ngắn cũng không có lợi, lúc đó âm nghe yếu, khô khan và không rõ, không tận dụng hết năng lượng âm có ích.

a) Hệ số phản xạ β:

Nói chung năng lượng âm bị hấp thu (E_α), phản xạ (E_β) và xuyên qua (E_τ), nhiều hay ít phụ thuộc vào tính chất vật lý của vật liệu, của kết cấu, tính chất và phương tới của sóng âm.

Theo vật lý, nếu năng lượng sóng tới là E_d: Đặc trưng cho tính chất phản xạ bằng hệ số phản xạ β:

$$\beta = E_\beta / E_d$$



Hình 1 - 25. Năng lượng phản xạ, hấp thu và xuyên qua, năng lượng đến E_d

Trong 2 môi trường 1 và 2, vận tốc truyền sóng C_1, C_2 (m/s), khối lượng riêng ρ_1 và ρ_2 (N/m²), ta có:

- Sức cản của môi trường:

$$Z = C\rho, \quad N/m^2.s$$

- Đặt:

$$m = \frac{C_2\rho_2}{C_1\rho_1}$$

Hệ số phản xạ:

$$\beta = \left(\frac{m-1}{m+1}\right)^2$$

b) Hệ số xuyên qua τ:

Đặc trưng cho tính chất xuyên qua bằng hệ số xuyên qua τ:

$$\tau = \frac{E_\tau}{E_d} = \frac{4m}{(m+1)^2}$$

Sức cản $C.\rho$ của một vài môi trường ở 20°C và 760mm Hg:

- Không khí: $C.\rho = 425$ $N/m^2.S$ ($42\ g/cm^2.S$)
- Nước: $C.\rho = 14.10^5$ $N/m^2.S$ ($14.10^4 g/cm^2.S$)
- Thép: $C.\rho = 4.10^7$ $N/m^2.S$ ($4{,}8.10^6 g/cm^2.S$)

c) Hệ số hấp thu α:

Đặc trưng cho tính hấp thu bằng hệ số hấp thu α:

$$\alpha = \frac{E_\alpha}{E_d}$$

Hệ số hấp thu phụ thuộc nhiều yếu tố, thực tế thường xác định bằng thực nghiệm (bảng 1.1, phụ lục 1). Theo định luật bảo toàn năng lượng (hình 1 - 25).

$$E_d = E_\beta + E_\alpha + E_\tau$$

$$\beta + \alpha + \tau = 1$$

Một vài hệ số hấp thu

Loại vật liệu	α		
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
Tấm vỏ bào ép dày 2,6cm gắn sát tường	0,05	0,08	0,31
Mặt tường trát vữa nhẵn	0,01	0,02	0,02
Tấm bê tông thủy tinh	0,45	0,65	0,80

3. Dựng mặt sóng phản xạ theo nguyên lý Huy - Ghen

Khi sóng âm tới gặp bề mặt cứng, nhẵn, kích thước lớn hơn chiều dài bước sóng tới, sóng sẽ phản xạ định hướng (hình 1 - 26 a, b, c).

• *Sóng phẳng*

Giả sử bề mặt phản xạ **MN**. Tại thời điểm $t = t_0$, mặt sóng phẳng tới **AB**, điểm **A** tới trên **MN** sau đó điểm A_1, A_2 lần lượt tới mặt **MN** tại E_1, E_2. Khi $t = t_1$, điểm **B** tới **C**. Các điểm **A**, E_1, E_2 thành nguồn thứ cấp.

$$AA_1 = A_1A_2 = A_2B$$

Vận tốc truyền sóng **C**, khi $t \rightarrow t_1$

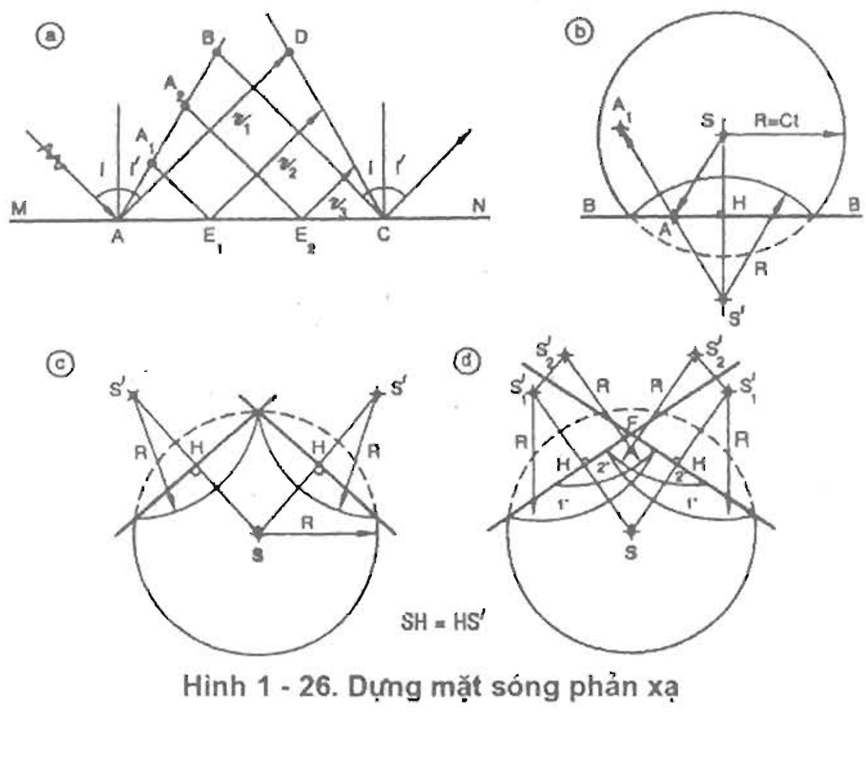
Sóng thứ cấp tại **A** có bán kính $r_1 = C(t_1 - t_0)$

Sóng thứ cấp tại E_1 có bán kính $r_2 = \frac{2}{3} C(t_1 - t_0)$

Sóng thứ cấp tại E_2 có bán kính $r_3 = \frac{1}{3} C(t_1 - t_0)$

Đường thẳng qua **C** tiếp tuyến với các mặt sóng thứ cấp có bán kính lần lượt r_1, r_2, r_3 là mặt sóng phản xạ cần tìm.

Lưu ý: tia sóng vuông góc với mặt sóng, hai tam giác **ΔABC = ΔADC** (2 tam giác vuông có chung cạnh), 2 góc nhọn của 2 tam giác vuông: góc **DAC** = góc **BCA** . Do đó $i = i'$.



Hình 1 - 26. Dựng mặt sóng phản xạ

• ***Sóng cầu***

- Sóng cầu phản xạ từ mặt tường cản.

Giả sử có sóng cầu tâm **S**, khi tới trên mặt phẳng cứng nhẵn **B - B**. Vẽ mặt sóng phản xạ.

Vì là sóng cầu, bán kính các mặt sóng: **R = C.t**

Từ tâm sóng **S**, dựng pháp tuyến của **B - B** (hình 1 - 26b) lấy **SH = HS**.

S' là nguồn ảo của **S** qua **B - B**. Mặt sóng phản xạ bán kính **R** xuất phát từ tâm **S'**.

- Sóng cầu phản xạ từ hai mặt tường giao nhau.

Xác định bằng phương pháp tương tự (hình 1 - 26c, d),

4. Tính định hướng của nguồn âm

Mọi nguồn âm đều có tính bức xạ định hướng (tính định hướng).

Tính định hướng chỉ sự phân bố năng lượng âm do nguồn bức xạ trong không gian tự do. Nguồn âm khác nhau, phân bố năng lượng âm trong không gian cũng khác nhau, nói chung đều có những tính chất sau:

- Khi chiều dài bước sóng của sóng âm lớn hơn nhiều so với kích thước nguồn âm, năng lượng âm do nguồn bức xạ coi như phân bố đều trong không gian.

- Khi chiều dài bước sóng của sóng âm nhỏ hơn nhiều so với kích thước của nguồn âm, phần lớn năng lượng âm do nguồn bức xạ chỉ tập trung quanh trục bức xạ của nguồn thành một chùm tia rất hẹp. Tần số càng cao chùm tia càng hẹp.

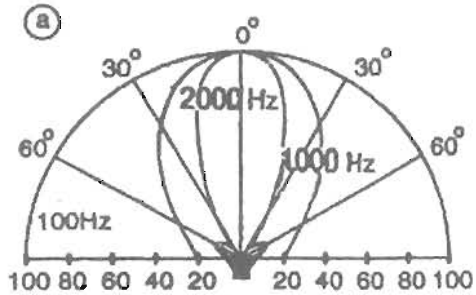
Thí nghiệm sau đây, cho thấy điều đó:

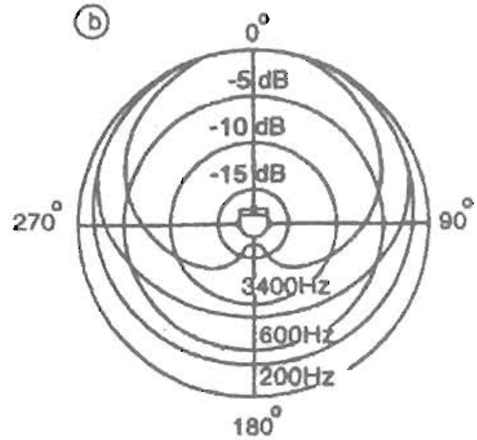
Treo một chiếc loa bình thường, đường kính 30 cm trên một mặt tường rộng, kết quả đo đạc thể hiện trong hình 1 - 27. Vòng tròn có tâm là nguồn âm biểu thị năng lượng âm trên các hướng đều bằng nhau. Khoảng cách từ loa tới một điểm bất kỳ trên đường cong biểu thị giá trị áp suất âm trên hướng đó.

Âm tần số 100 (Hz), áp suất âm phân bố chung quanh nguồn gần như một nửa vòng tròn, áp suất trên các hướng xấp xỉ bằng nhau.

Âm có tần số 1000 (Hz) chiều dài bước sóng λ xấp xỉ đường kính của loa, năng lượng âm phân bố có hướng rõ rệt, nhất là âm có tần số 2000 (Hz) năng lượng tập trung quanh trục bức xạ gần như một chùm tia nhọn.

Do tính định hướng nên trong những phòng rộng, nếu đặt loa ở giữa, trên miệng sân khấu, mọi chỗ ngồi đều nhận được âm trầm như nhau, chỉ những chỗ ngồi gần trục bức xạ của loa mới nhận được âm thực, những chỗ ngồi ở hai phía của trục bức xạ chỉ nghe được âm trầm, nhất là những hàng ghế đầu, mở rộng quá lớn về hai phía của trục âm. Đây là một trong những nguyên nhân không chọn mặt bằng phòng khán giả vuông.





Hình 1 - 27. a) Tính định hướng của nguồn âm;
b) Mức áp suất âm phân bố quanh đầu người
Đo trên mặt phẳng nằm ngang, cách đầu người 0,6m

Đặc trưng tính định hướng của nguồn âm bằng chỉ số định hướng **Q**:

$$Q = \frac{P_h^2}{P_{tb}^2}$$

P_h - áp suất âm tại điểm khảo sát, đo trên hướng khảo sát.

P_{tb} - áp suất âm trung bình tại điểm đó, đo trên mọi hướng có thể.

Hoặc có thể bằng hệ số định hướng **G**:

$$G = L_h - L_{tb} = 10.\lg Q = 20.\lg \frac{P_h}{P_{tb}}$$

L_h - mức áp suất âm tại điểm tính toán trên hướng khảo sát.

L_{tb} - mức áp suất âm tại điểm đó, đo trên mọi hướng có thể.

5. Đại lượng và đơn vị âm

Đại lượng và đơn vị âm là cơ sở để phân tích, đánh giá chất lượng âm khi thiết kế nghe nhìn.

Âm hay tiếng động con người nhận biết được do áp lực của sóng âm tác động lên màng nhĩ tai. Các dao động âm phát ra từ nguồn lan truyền trong môi trường đàn hồi như không khí, cấu trúc nhà cửa.... dưới dạng sóng đàn hồi đến kích động màng nhĩ tai gây cảm giác về âm, do đó cần phân biệt hai loại đại lượng âm:

- Đại lượng âm khách quan: những đại lượng thuần túy vật lý, không phụ thuộc vào tai người.

- Đại lượng âm chủ quan: những đại lượng tâm lý vật lý phụ thuộc vào đặc điểm sinh lý của tai người.

5.1. Đại lượng và đơn vị âm khách quan (thuần túy vật lý)

a) Áp suất âm (P):

Khi sóng âm tới trên bề mặt nào đó, dao động của các phần tử môi trường tác dụng lên mặt đó một áp suất. Áp suất ở đây là áp suất dư do sóng âm gây ra trên áp suất khí quyển.

Biên độ áp suất âm P_y trên phương truyền sóng **y** xác định bằng biểu thức:

$$P_y = \rho.C.v = Z.v$$

Biên độ áp suất cực đại: $P_{max} = \rho.C.\omega.a$

Trong đó: $Z = \rho.C$ - sức cản của môi trường truyền sóng

ρ - khối lượng riêng của môi trường

C - vận tốc truyền sóng

v - vận tốc dao động của phần tử môi trường

P_y biến thiên theo chu kỳ. Trong một chu kỳ **T**, áp suất biến thiên từ cực đại xuống zêrô, rồi từ zêrô lên cực đại. Do đó thường lấy giá trị căn quân phương của áp suất, ký hiệu **P**:

$$P = \frac{\sqrt{2}}{2} P_{max}$$ - gọi là áp suất âm có ích

Đơn vị đo áp suất âm, cũng như đo áp suất cơ học, chỉ có độ lớn, không có phương và chiều, xác định bằng lực **F** tác dụng lên bề mặt diện tích $S(m^2)$.

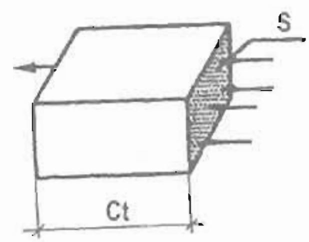
$P = \frac{F}{S}$ N/m^2 hay bar (đọc là bary)

1 bar = 10^5 $N/m^2 \approx$ **1 at** (atmotpher)

1 bar = 1000mbar = 10^6 μ**bar**

Trong phạm vi nghe được, áp suất âm trong khoảng từ $2.10^{-4} \div 2.10^2$ μbar.

Chênh lệch 10^6 lần, đó là một phạm vi rất rộng.



Hình 1 - 28

b) Cường độ âm (I)

Cường độ âm ở một điểm nào đó trên phương đã cho trong trường âm đo bằng số năng lượng âm đi qua đơn vị diện tích của mặt **S** vuông góc với phương truyền âm, tại điểm đó, trong đơn vị thời gian (hình 1 - 28).

- Đối với sóng phẳng:

Theo định nghĩa, ta có: $I = \frac{E}{S.t}$ (W/m^2), $(J/m^2.s)$

Nhưng: $E = \bar{E}.\Delta V = \bar{E}\ (S.C.t)$

Trong đó: $\bar{E} = \frac{1}{2}\rho.a^2.\omega^2$

Có thể viết: $I = \frac{1}{2}\frac{\rho^2.a^2.\omega^2.C^2}{\rho.C} = \frac{1}{2}\frac{P_{max}^2}{\rho.C} = \frac{1}{\rho.C}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}P_{max}\right)^2 = \frac{P^2}{\rho.C}$ (W/m^2)

Ở đây **P** là áp suất có ích tại điểm khảo sát.

- Đối với sóng cầu:

Nguồn âm điểm phân bố năng lượng đều trên mọi hướng trong không gian, do đó cường độ âm tại một điểm bất kỳ cách nguồn ℓ mét bằng:

$$I = W/4\pi.\ell^2 \quad \text{(Watt/m}^2\text{)}$$

Trong đó: **W** - công suất của nguồn âm (Watt).

Như vậy, đối với sóng phẳng, cường độ âm không có quan hệ với khoảng cách đến nguồn. Đối với sóng cầu, cường độ âm tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách đến nguồn.

Trong phòng, ngoài âm trực tiếp do nguồn bức xạ còn có sóng âm phản xạ từ các bề mặt giới hạn. Do đó rất khó đo cường độ âm trực tiếp, chỉ có thể đứng cách nguồn âm đủ gần để tỷ lệ của âm trực tiếp đủ lớn so với âm phản xạ, có thể bỏ qua tác dụng của âm phản xạ, và đo gần đúng âm trực tiếp.

Một vài cường độ âm đáng chú ý:

- Người nói thường: $I = 2.10^{-3}$ W/m^2
- Còi ô tô: $I = 5$ W/m^2
- Còi báo động: $I = 3.000$ W/m^2

Trong điều kiện chuẩn (t = 20°C, áp suất 760mmHg) vận tốc âm trong không khí **C = 340m/s**; **ρ = 0,00121gr/cm^3**; $\gamma = C_p/C_v = 1{,}4$.

Âm chuẩn: trong tính toán, quy ước lấy âm đơn tần số f **= 1000 Hz** làm chuẩn để so sánh, gọi là âm chuẩn.

Đối với âm chuẩn, trong phạm vi nghe được, áp suất âm nhỏ nhất $P_0 = 2.10^{-5}$ **N/m^2** (hay là **2.10^{-4} = 0,0002 μbar**) và cường độ âm nhỏ nhất $I_0 = 10^{-12}$ **W/m^2** (hay **10^{-16} W/cm^2**).

Áp suất âm và cường độ lớn nhất tai người có thể chịu được bằng **P = 2.10^2μbar** và **I = 10^{-4} W/cm^2**.

$$P_0 = \sqrt{I_0.\rho.C} = 2.10^{-4}\ \mu bar = 2.10^{-5}\ N/m^2$$

Công suất âm nhỏ nhất có thể nghe thấy được: $W_0 = 10^{-12}$ (Watt).

Đối với sóng cầu:

$$W = I\,(4\pi.\ell^2)$$

Khi: $4\pi.\ell^2 = 1,\ W = I$ (Watt)

c) Mật độ năng lượng âm ($\bar{E}$)

Là năng lượng âm chứa trong đơn vị thể tích môi trường có sóng:

$$\bar{E} = \frac{E}{\Delta V} = \frac{1}{2}\rho.a^2.\omega^2 \quad (\text{jun/cm}^3)$$

Các dao động lan truyền đi mang theo năng lượng. Năng lượng này chính là năng lượng của các phần tử môi trường dao động quanh vị trí cân bằng của nó trong trường sóng.

Mỗi đơn vị thể tích của môi trường có sóng mỗi lúc nhận được một năng lượng dao động nhất định phân bố đều trong đó. Có thể viết:

$$\bar{E} = \frac{1}{2}\frac{\rho^2.a^2.\omega^2.C^2}{\rho.C^2} = \frac{1}{2}\frac{P_{max}^2}{\rho.C^2} = \frac{1}{\rho.C^2}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}P_{max}\right)^2 = \frac{P^2}{\rho.C^2} = \frac{I}{C}$$

Trong phạm vi nghe được, mật độ năng lượng âm nhỏ nhất $\bar{E}_0$ bằng:

$$\bar{E}_0 = \frac{I_0}{C} = \frac{10^{-16}}{34000} = 3.10^{-21}\ (\text{jun/cm}^3) = 3.10^{-15}\ (\text{jun/m}^3)\ \text{hay}\ (\text{W.S/m}^3)$$

$\bar{E}$ lớn nhất tai người có thể chịu được bằng:

$$\bar{E} = \frac{I}{C} = \frac{10^{-4}}{0{,}34.10^5} = 3.10^{-9}\ (\text{jun/cm}^3) = 3.10^{-3}\ (\text{jun/m}^3)\ \text{hay}\ (\text{W.S/m}^3)$$

5.2. Đại lượng đơn vị âm chủ quan (tâm lý vật lý)

Tai người trung bình có thể nhận được những sóng âm tần số từ 16 đến 20.000 (Hz), hiệu quả này liên quan tới đặc điểm sinh lý của tai người.

Như vậy, âm thanh là một hiện tượng tâm lý vật lý, không phải bất cứ sóng âm nào tới tai cũng gây cảm giác âm thanh như nhau. âm có tần số khác nhau gây cảm giác mạnh yếu khác nhau.

Cường độ âm nhỏ nhất của một sóng âm nào đó đủ để tai người nghe thấy được gọi là ***"Ngưỡng nghe"***. Âm có tần số khác nhau, giá trị ngưỡng nghe cũng khác nhau. Tai người nhạy nhất với âm có tần số trong khoảng từ 1000 đến 3000 (Hz), trong phạm vi này cường độ âm ngưỡng nghe nhỏ nhất. Những tần số khác, tai người kém nhạy hơn, ngưỡng nghe có giá trị lớn hơn. Đối với âm chuẩn, cường độ, áp suất ở ngưỡng nghe bằng:

$$I_0 = 10^{-12}\ \text{W/m}^2\ (10^{-16}\ \text{Watt/cm}^2);\ P_0 = 2.10^{-5}\ \text{N/m}^2\ (0{,}0002\mu\text{bar})$$

và: $\bar{E}_0 = 3.10^{-15}$ jun/m^3

Cường độ âm lớn nhất tai người có thể chịu được gọi là ***"ngưỡng chói"***. Với âm chuẩn, ngưỡng chói bằng:

$$I = 10^{-4}\ W/cm^2\ (1W/m^2);\ P = 2.10\ \ N/m^2\ (2.10^2\ \mu bar)\ \text{và}\ \bar{E} = 3.10^{-3}\ jun/m^3$$

Do cảm giác âm thanh phụ thuộc vào đặc điểm sinh lý của tai người, cho nên còn có một số đại lượng đặc trưng cảm giác âm thanh phụ thuộc vào tai người, những đại lượng như vậy gọi là đại lượng âm chủ quan.

a) Bel và decibel (dB)

Theo định lý sinh lý của Vebe - Fecné, cảm giác nghe to đối với một âm không tỷ lệ thuận với cường độ của âm đó. Khi cường độ âm tăng từ I_0 tới I cảm giác nghe to tăng tỷ lệ với $\lg\frac{I}{I_0}$.

Do đó người ta dùng thang logarit cơ số 10 để đo mức cảm giác mạnh yếu của âm thanh gây ra trong tai người. Thang đơn vị này đo mức cảm giác so với mức ngưỡng - Mức ngưỡng gọi là mức zêrô quy ước: (đơn vị **Bel** hay decibel (**dB**), **10dB = 1 Bel**). Tên của thang đơn vị này là mức (mức cường độ, mức áp suất).

$$\lg\frac{I_0}{I_0} = 10.\lg\frac{10^{-12}}{10^{-12}} = \lg 1 = 0,\ \text{Bel - Mức ngưỡng (Mức zêrô quy ước)}$$

Bel là đơn vị biểu thị bằng thang đo logarit (**lg**) cơ số 10 của tỷ số giữa hai cường độ, hai áp suất, hai công suất, hai năng lượng âm. Về giá trị, **Bel** là lượng tăng tính bằng logarit cơ số 10 của tỷ số giữa hai công suất âm **W** (hai cường độ âm **I**, hai áp suất âm **P**, hai năng lượng âm **E**), chẳng hạn W_1 và W_2 là hai công suất âm, lượng tăng bằng:

$$n = \lg\frac{W_1}{W_2};\ \ Bel = 10.\lg\frac{W_1}{W_2},\ \ dB$$

Thí dụ A_1, A_2 là hai công suất âm: $A_2 > A_1$, lượng tăng bằng:

$$n = \lg\frac{A_2}{A_1},\ Bel = 10.\lg\frac{A_2}{A_1},\ \ dB\ \ \text{(bảng 1.1)}$$

Đối với âm chuẩn: ngưỡng chói tai và ngưỡng nghe tính bằng **dB**, chênh lệch nhau 120 mức:

$$10.\lg\frac{I}{I_0} = 10.\lg\frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 120,\ dB$$

Nếu tính bằng đơn vị tuyệt đối: $\frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 10^{12}$ lần

Đây là mức phân biệt khá tinh vi, khó có được một dụng cụ đo lường chính xác như vậy.

Bảng 1 - 1

A_2/A_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	100	1000	10.000
n (dB)	0	3	4,8	6	7	7,8	8,5	9	9,5	10	20	30	40

b) Mức cường độ âm (L_I)

Nếu $\mathbf{I}$ là cường độ âm của âm đang xét và $\mathbf{I_0}$ là cường độ âm ở mức zêrô quy ước của âm chuẩn, mức cường độ âm $\mathbf{L_I}$ bằng:

$$L_I = 10.\lg\frac{I}{I_0}, \quad (dB)$$

Trong đó: $\mathbf{I}$ - tính bằng W/m^2, nếu tỷ số $\frac{I}{I_0} = 10$, $L_I = 10$ dB

Thay giá trị $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2, ta có:

$$L_I = 10.\lg\frac{I}{10^{-12}}, \quad (dB)$$

c) Mức áp suất âm (L_P)

Mức áp suất âm suy dẫn từ mức cường độ âm:

Từ quan hệ: $$I = \frac{P^2}{\rho.C}$$

Ta có: $$L_p = 20.\lg\frac{P}{P_0}, \quad (dB)$$

Trong đó: **P** - áp suất âm có ích của âm đang xét (N/m^2).

P_0 - áp suất âm của âm chuẩn ở ngưỡng nghe tương ứng với $P_0 = 2.10^{-5}$ N/m^2, (0,0002 μbar), $I_0 = 10^{-12}$ Watt/m^2.

Thực tế áp suất âm là đại lượng cơ bản hơn cường độ âm, nên thường dùng mức áp suất âm, sau đó suy ra mức cường độ âm. Đơn vị chung là **Bel** hay **dB**.

Đơn vị này cũng dùng để đo mức công suất; mức năng lượng âm... Vì đều suy dẫn từ mức cường độ, qua quan hệ vật lý giữa **I**, **P**, **E**, **W**.

Mức năng lượng: $$L_E = 10.\lg\frac{E}{E_0}, \quad (dB)$$

Mức công suất: $$L_W = 10.\lg\frac{W}{W_0}, \quad (dB)$$

Vài mức áp suất âm đáng chú ý:

Nói chuyện thường 30 dB; Nói chuyện to 70 dB.

6. Quãng độ cao (quãng tần số, ốc ta, bát độ)

Quãng tần số của hai âm là khoảng cách tần số của hai âm đó. Nếu một âm tần số f_1, một âm khác tần số f_2 ($f_2 > f_1$):

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^x$$

Khi **x = 1**, tức là $\frac{f_2}{f_1} = 2$. Gọi là 1 quãng tần số (hay 1 ốc ta, 1 quãng độ cao).

Khi $x = 1/2 \rightarrow \frac{f_2}{f_1} = \sqrt{2} = 1{,}41$. Gọi là nửa ốc ta.

Khi $x = 1/3 \rightarrow \frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2} = 1{,}26$. Gọi là 1/3 ốc ta.

Mức áp suất âm của một ốc ta bằng mức áp suất âm của 1/ 2 ốc ta cộng thêm 3 dB.

Mức áp suất âm của một ốc ta bằng mức áp suất ấm của 1/3 ốc ta cộng thêm 5 dB.

Vì quãng tần số của một âm quy định độ cao của âm đó nên còn gọi là quãng độ cao. Theo tập quán âm nhạc quãng độ cao gọi là quãng 8 (bát độ).

Chẳng hạn âm La, tần số f = **440 Hz**, tăng một bát độ tức là tăng gấp đôi tần số 880 Hz.

Tần số trung bình của một quãng độ cao:

$$f_{tb} = \sqrt{f_1 . f_2} \quad \text{(Hz)}$$

Thí dụ: một âm tần số f_1 = **100 Hz**, một âm khác tần số f_2 = **200 Hz**. Tần số trung bình của quãng độ cao đó bằng:

$$f_{tb} = \sqrt{100.200} = 142 \quad \text{(Hz)}$$

Tần số trung bình của 1 ốc ta đủ tư cách đại diện cho tính chất của âm trong dải ốc ta của nó.

Bảng 1.2. Quãng tần số được nhiều người công nhận

Ốc ta	45 - 90	90 - 180	180 - 355	355 - 710	710 - 1400	1400 - 2800	2800 - 5600	5600-12000
f_{tb}	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

Trong thực tế thường gặp những âm phức tạp bao gồm nhiều tần số. Tập hợp tất cả những tần số cấu tạo trong một âm gọi là "Tần phổ" của âm đó, tần phổ có thể gián đoạn hay liên tục. Một

âm có tần phổ liên tục, đặc trưng bằng ***"Mức tần phổ B"*** với định nghĩa: *Mức tần phổ là mức áp suất trong chiều rộng của dải tần số bằng **1Hz**.*

Một âm có mức tần phổ B không đổi với mọi tần số gọi là âm trắng. Một âm có tần phổ gián đoạn đặc trưng bằng ***"Mức dải tần số"*** với định nghĩa: *Mức dải tần số là mức áp suất âm trong chiều rộng của dải tần số lớn hơn **1 Hz**.*

7. Đại lượng âm thuần túy tâm lý (Mức to, độ to, mức âm cảm giác)

Mức áp suất âm, mức cường độ âm, quãng độ cao trên đây vừa mang tính chất chủ quan vừa mang tính chất khách quan, vì những đại lượng này xác định từ những đại lượng thuần túy vật lý.

Biết được sức mạnh của âm thanh đo bằng tai người (thuần túy tâm lý), có ý nghĩa to lớn trong thực tế thiết kế.

Mức to, độ to của một âm là sức mạnh cảm giác do âm thanh gây ra trong tai người không những phụ thuộc vào áp suất âm mà còn phụ thuộc vào tần phổ của âm đó.

Thí dụ: hai âm tần số 100 Hz và 1000 Hz, áp suất âm đều bằng 0,02 μbar nhưng nghe to, nhỏ khác nhau, âm 1 000 Hz nghe to hơn âm 100 Hz. Muốn nghe to bằng âm 1000 Hz, âm 100 Hz phải có áp suất bằng 0,25 μbar. Như vậy tai người, đối với âm 1000 Hz nhạy hơn đối với âm 100 Hz.

Hay là âm 500 Hz, mức áp suất âm 25 dB, âm 50 Hz muốn nghe to bằng âm 500 Hz phải có mức áp suất âm 64 dB . Tần số càng thấp, tai người càng kém nhạy.

a) Mức to

Mức to của âm thanh trên cảm giác chủ quan, đo bằng đơn vị **Fôn** (viết tắt là **F**) với định nghĩa như sau: *Fôn là mức to của âm chuẩn, có mức áp suất bằng **1 dB**.*

$$L = 20\lg\frac{P}{P_0} = 20\lg\frac{P}{2.10^{-5}} \quad \text{(Fôn)}$$

Trong đó: **P** - áp suất âm có ích của âm chuẩn **(N/m^2)**.

$P_0 = 2.10^{-5}$ N/m^2 áp suất âm ở ngưỡng nghe của âm chuẩn.

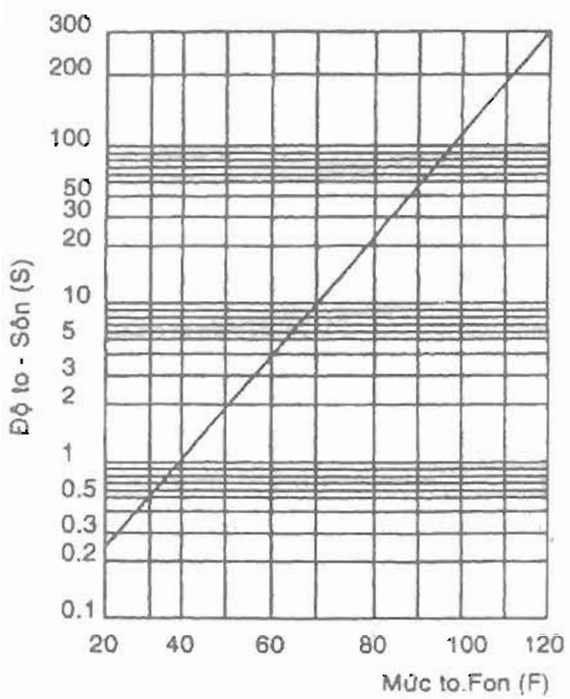
Muốn biết mức to của âm bất kỳ phải so sánh với âm chuẩn. Cho nên mức to còn có định nghĩa:

Mức to của một âm bất kỳ đo bằng Fôn, về giá trị bằng mức áp suất âm của âm chuẩn đo bằng dB có cùng mức to với âm đó.

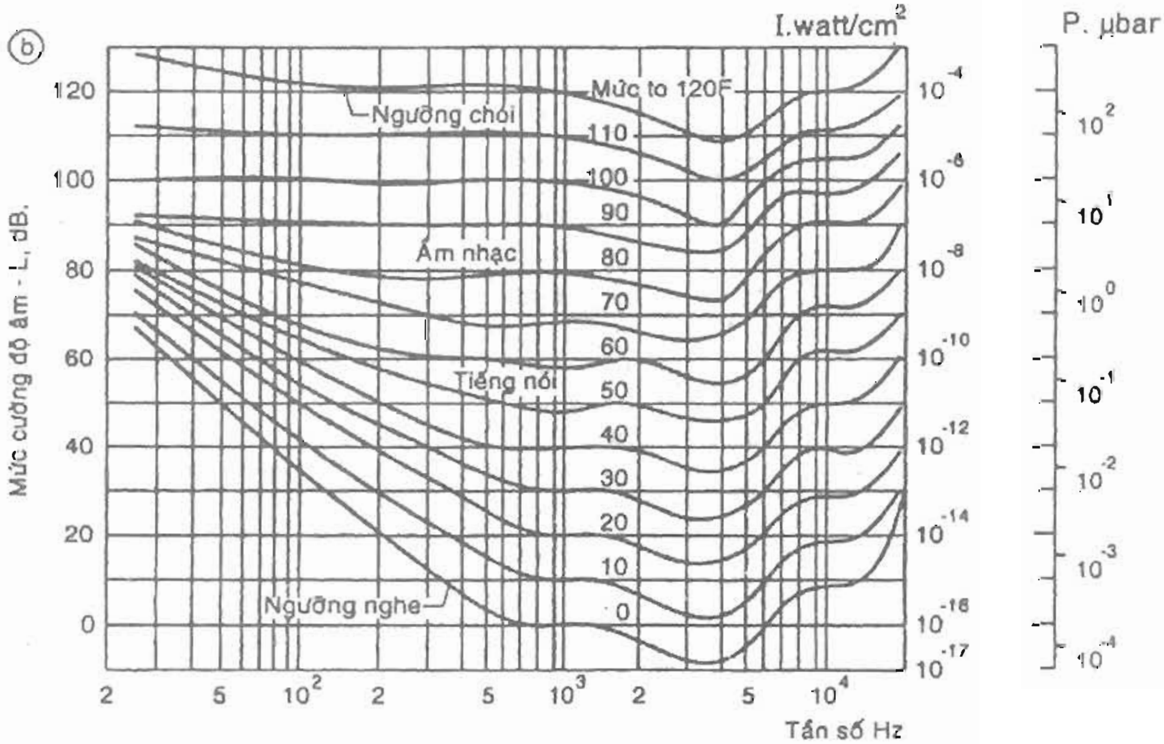
Thí dụ: âm tần số 500 Hz mức áp suất bằng 25dB, âm tần số 50 Hz mức áp suất âm bằng 64 dB, cùng mức to 20 Fôn, bằng mức to của âm 1000 Hz, mức áp suất âm 20 dB (hình 1 - 29a).

Đối với âm chuẩn, mức to ở ngưỡng nghe 0 Fôn (0 dB), ngưỡng chói tai 120 Fôn (120 dB) (hình 1 - 29b).

Cùng một giá trị áp suất, âm tần số càng cao, mức to càng lớn.



(a) **Mức to và Độ to của âm chuẩn**



Hình 1 - 29. Biểu đồ đồng mức to và giới hạn nghe được của H. Fletcher và W.A.Munson (dùng cho đơn âm tần số khác nhau)

b) Độ to

Khi so sánh âm này to hơn âm kia bao nhiêu lần dùng đại lượng "**Độ to**", đơn vị "**Sôn**" với định nghĩa như sau:

Âm tần số 1000 Hz, mức cường độ 40dB, độ to định nghĩa bằng 1 Sôn (hay 1000 mSôn). Số lượng Sôn biểu thị số lần mạnh hơn của một âm nào đó so với âm chuẩn do tai người phân biệt được.

1 Sôn = 1 000 mSôn (milisôn)

Độ to là một thuộc tính của thính giác, cho phép phán đoán tính chất mạnh yếu của âm thanh. Căn cứ vào độ to sắp xếp thứ tự của âm từ nhỏ tới to.

Sôn và Fôn là những đơn vị biểu thị cường độ cảm giác đối với âm thanh.

Giữa Sôn và Fôn có quan hệ như sau:

$$S = 2^{0,1(F-40)}$$

Như vậy:

- Nếu mức to của một âm bằng 40 Fôn, độ to S = 1 Sôn.
- Nếu mức to của một âm bằng 50 Fôn, độ to S = 2 Sôn.
- Nếu mức to của một âm bằng 60 Fôn, độ to S = 4 Sôn.

Mức to tăng 10 Fôn độ to tăng gấp đôi và ngược lại, nếu mức to giảm 10 Fôn độ to giảm một nửa. Điều này có ý nghĩa đặc biệt trong kỹ thuật chống ồn.

Qua nhiều phân tích khả năng thính giác của người đối với nhiều đơn âm có cường độ và tần số khác nhau, năm 1933 - 1934, H. Fletcher và W.A. Munson xây dựng biểu đồ đồng mức to nổi tiếng (hình 1 - 29b), trục hoành ghi tần số, trục tung ghi áp suất âm, cường độ âm, mức cường độ âm (dB) với $I_0 = 10^{-16}$ W/cm^2. Những đường cong trong biểu đồ là những đường nối các điểm có cùng mức to tương ứng với những đơn âm khác nhau do tai người phán đoán được. Những đường cong này xác định bằng cách so sánh các đơn âm với âm chuẩn 1000 Hz. Nhờ biểu đồ có thể xác định mức to của một âm đơn bất kỳ khi biết áp suất và tần số của âm đó.

Mức to của một âm phức tạp

Phương pháp xác định mức to (Fôn) của một âm phức tạp như sau:

- Đo mức áp suất âm của các quãng tần số trong tần phổ của âm phức tạp.
- Từ biểu đồ hình 1 - 30, tìm chỉ số độ to tương ứng với mức áp suất âm của các quãng tần số đã đo đạc.
- Tính tổng độ to theo công thức sau:

$$S_T = S_M + 0,3(\Sigma S - S_M) \quad \text{(Sôn)}$$

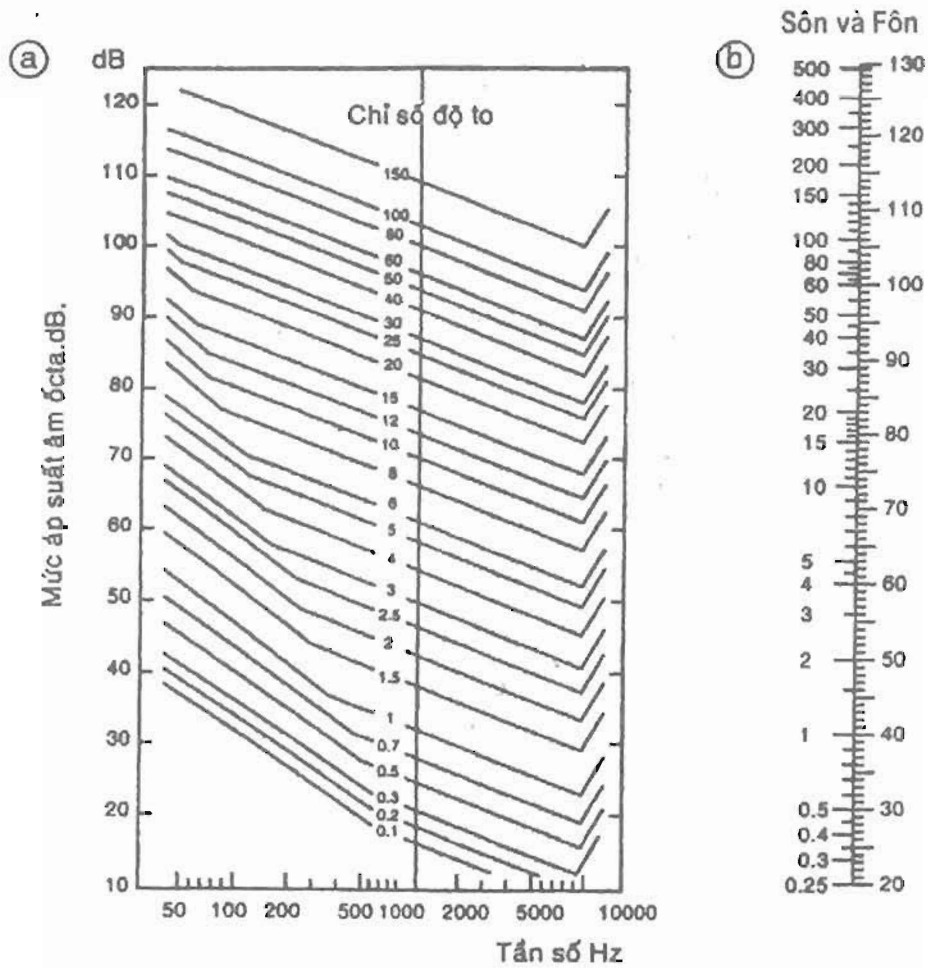
Trong đó: S_T - tổng độ to (Sôn).

S_M - chỉ số độ to lớn nhất trong các quãng tần số.

ΣS - tổng chỉ số độ to của các quãng tần số.

0,3 - hằng số với dải tần đo 1 ốc ta. Nếu máy đo chiều rộng dải tần bằng 1/2 hoặc 1/3 ốc ta thay bằng 0,2 và 0,15.

- Cuối cùng từ trục quan hệ giữa **F** và **S** xác định mức to **Fôn** (**F**).



Hình 1 - 30. Biểu đồ xác định mức to của một âm phức tạp
a) Xác định chỉ số độ to theo mức áp suất âm ốc ta
b) Quan hệ giữa mức to (F) và độ to (S)

c) Mức âm cảm giác

Mức to của một âm phức tạp hoặc của trường âm không chu kỳ có thể xác định bằng cách so sánh với âm chuẩn 1000 (Hz). Sự so sánh này có thể thực hiện bằng máy đo mức áp suất âm của âm chuẩn.

Khi so sánh, người ta cho máy phát âm 1000 (Hz) đồng thời điều chỉnh âm lượng để âm có mức to bằng mức to của âm cần so sánh. Mức to này tính bằng Fôn hoặc bằng mức áp suất âm của âm chuẩn.

Cách so sánh như vậy rõ ràng khó chính xác.

Muốn chế tạo máy đo mức to phản ánh gần đúng đặc tính sinh lý của tai người, người ta mắc thêm một mạch điện vào máy đo mức áp suất âm. Mạch điện này cấu tạo từ những bộ lọc sóng có khả năng hưởng ứng tần số tương tự như tai người thể hiện ở biểu đồ đồng mức to. Nhưng muốn cho khả năng hưởng ứng tần số ở các mức áp suất âm thay đổi liên tục từ mức này sang mức kia sẽ vô cùng phức tạp, cho nên thường dùng ba mạch hưởng ứng tần số:

- Mạch hưởng ứng tần số đo trường âm có mức to từ 60 Fôn trở lên, tương đương với đường đồng mức to 70 Fôn, số đọc trên máy của mạch này đơn vị dB – C.

- Mạch hưởng ứng tần số đo trường âm có mức to từ 30 – 60 Fôn, tương đương với đường đồng mức to 40 Fôn, số đọc trên máy của mạch này đơn vị dB – B.

- Mạch hưởng ứng tần số đo trường âm có mức to nhỏ hơn 30 Fôn, tương đương với đường đồng mức to 20 Fôn, số đọc trên máy của mạch này đơn vị dB – A.

Trong thực tế, thường dùng mạch hưởng ứng tần số dB – A để đo mức âm tổng hợp nói chung.

Nếu biết được mức áp suất âm và tần số của một âm nào đó có thể thông qua biểu đồ đồng mức to xác định ngay được mức to của âm đó một cách chính xác. Nhưng thực tế khó thực hiện được mong muốn này.

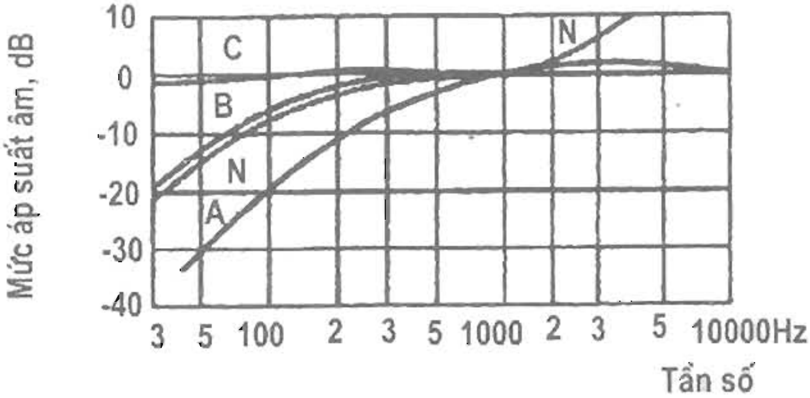
Sự sai khác giữa mức âm cảm giác (dB – C, dB – B, dB – A) với mức áp suất âm (dB) đo trên máy đo áp suất thông thường, phụ thuộc vào tần số, tần số càng thấp sai khác càng lớn, sự phụ thuộc vào tần số như vậy gọi là đặc tính tần số của mức âm cảm giác (hay hưởng ứng tần số của mức âm cảm giác).

Số đo tính bằng dB – A, dB – B, dB – C gọi là mức âm cảm giác (gọi tắt là mức âm N).

Phải dùng mức âm vì mức áp suất âm đo trên "Mức áp suất kế" thông thường phụ thuộc vào thành phần tần số thấp chứa trong một âm. Âm chứa nhiều thành phần tần số thấp, giá trị mức áp suất âm đo trên máy càng lớn và càng sai lệch nhiều với mức âm đo trên mạch hưởng ứng tần số, chẳng hạn âm 63Hz mức âm nhỏ hơn mức áp suất âm 26,2dB, âm 125Hz mức âm nhỏ hơn mức áp suất âm 16,1dB ....(hình 1 – 31).

Bảng 1 - 3. Đặc tính tần số (giá trị sai lệch) giữa dB – A với mức áp suất dB

Tần số trung bình của 8 ốc ta	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Giá trị hiệu chỉnh sang mức âm cảm giác (dB)	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1	-1,1



Hình 1 - 31. Mức âm cảm giác N và mạch hưởng ứng tần số
A. Sử dụng cho mức áp suất âm từ 30 đến 60dB;
B. Sử dụng cho mức áp suất âm từ 60 đến 90dB;
C. Sử dụng cho mức áp suất âm > 90dB

d) Chuyển mức áp suất âm (dB) của một âm phức tạp sang mức âm cảm giác (dB – A)

Trường hợp không có đủ thiết bị đo theo yêu cầu, phải sử dụng phương pháp chuyển đổi.

Mức âm tổng hợp (dB - A) chuyển đổi từ mức áp suất (hay mức cường độ) đo bằng dB thực hiện bằng các bước sau:

- Giả sử âm tổng hợp trong dải tần bao gồm 8 ốc ta, với 8 tần số trung bình: 63, 125, 250, 500, 1 000, 2000, 4000, 8000 Hz như đã biết.

- Dùng máy đo mức cường độ (hoặc mức áp suất) thông thường đo mức cường độ của âm theo các tần số trung bình của 8 ốc ta:

$$L_{I\,63}, L_{I\,125}, L_{I\,250}, L_{I\,500}, L_{I\,1000}, L_{I\,2000}, L_{I\,4000} \text{ và } L_{I\,8000} \quad \text{(dB)}$$

- Áp dụng giá trị hiệu chỉnh (bảng 1 - 3) để xác định mức cường độ dB - A tương ứng.

- Từ mức âm (dB - A) này, xác định cường độ âm tương ứng theo biểu thức:

$$L_I = 10.\lg\frac{I}{I_0} \quad \text{(dB)}, \quad \text{với } I_0 = 10^{-16}, \ \text{W/cm}^2$$

hoặc:

$$L_P = 20.\lg\frac{P}{P_0} \ \text{(dB)}, \text{ với } P_0 = 0{,}0002, \ \mu\text{bar}$$

- Như vậy chúng ta có: I_{63}, I_{125}, I_{250}, I_{500}, I_{1000}, I_{2000}, I_{4000} và I_{8000} theo mức âm cảm giác dB - A.

- Tính cường độ âm tổng hợp **I**:

$$I = I_{63} + I_{125} + I_{250} + I_{500} + I_{1000} + I_{2000} + I_{4000} + I_{8000}$$

Cuối cùng mức cường độ âm (hay mức áp suất âm) tính bằng dB - A bằng:

$$L_I = 10.\lg\frac{I}{I_0} \quad (dB - A)$$

Nếu như máy chỉ đo được mức áp suất âm của f_{tb} dải 1/3 ốc ta, có thể theo trình tự như trên để xác định mức cường độ âm (dB) của từng ốc ta, trình tự tiếp theo như trên.

8. Âm điệu và âm sắc

Âm điệu chỉ âm cao hay thấp, trầm hay bổng, thuần túy từ cảm nhận chủ quan. Âm điệu chủ yếu phụ thuộc vào tần số của âm. Tần số càng cao âm nghe càng cao, tấn số càng thấp âm nghe càng trầm.

Âm sắc chỉ sắc thái của âm, du dương hay thô kệch, thanh hay rè, trong hay đục. Âm sắc phụ thuộc vào cấu tạo của sóng âm phụ họa bao phủ quanh âm cơ bản. Số lượng sóng âm phụ họa càng nhiều, cấu trúc liên tục đều đặn quanh âm cơ bản, âm nghe du dương.

Âm sắc có quan hệ mật thiết với cường độ, âm điệu và thời gian âm vang, sự trưởng thành và tắt dần của trường âm.

Thực tế, mọi vật đều phát ra những dao động âm phức tạp bao gồm nhiều tần số từ thấp đến cao. Vật lý lý thuyết chứng minh được rằng: bất cứ một dao động âm phức tạp có tần số góc ω đều có thể phân tích thành tổng những dao động âm phụ họa có tần số góc ω_K và tần số f_K tương ứng, (đã trình bày trong phần trước).

$$\omega_K = (K + 1).\omega$$

$$f_K = (K + 1).f$$

Trong đó: K = 0, 1, 2, 3 ....

Ứng với K = 0, ta có dao động âm cơ bản: $\omega_0 = \omega$; $f_0 = f$ và âm của nó gọi là âm cơ bản như đã biết. Những dao động âm phụ họa tiếp theo ứng với K = 1, 2,... là những dao động âm phụ họa có tần số góc $\omega_1 = 2\omega$; ($\omega_2 = 3\omega$; và $f_1 = 2f$; $f_2 = 3f$ .... Âm của nó gọi là họa âm. Âm cơ bản bao giờ cũng mạnh nhất, còn họa âm quyết định âm sắc của âm cơ bản, hình thành tính chất đặc hữu của nguồn âm. Chẳng hạn tiếng đàn Piano và tiếng sáo tuy cùng một âm cơ bản nhưng rất dễ phân biệt, nguyên nhân là do số lượng, cấu trúc những họa âm quanh âm cơ bản của chúng khác nhau. Họa âm càng nhiều, âm nghe càng du dương phong phú.

9. Thính giác định vị (hiệu ứng nghe hai tai)

Khi nghe âm tuy mắt không nhìn thấy nguồn âm nhưng có thể xác định chính xác vị trí của nguồn âm. Đặc điểm này là kết quả của hai tác dụng:

- Do cường độ, độ to, âm sắc của âm đến hai tai không giống nhau.

- Do âm đến hai tai lệch pha nhau, vì thời gian âm đến hai tai không giống nhau.

Cường độ, độ to của âm đến hai tai chênh lệch nhau do nhiễu xạ gây ra (sự đổi phương truyền khi sóng âm đi qua đầu)

Âm có tần số f **<1000 Hz**, chênh lệch cường độ do nhiễu xạ gây ra rất bé nhưng ở những tần số cao, sự chênh lệch này có thể đạt tới 20 - 30 dB.

Do khả năng định vị của tai cho nên khi nghe âm có thể tập trung chú ý vào nguồn âm cần nghe, bỏ qua một cách tự nhiên những âm không cần nghe, nhờ hiệu quả này tiếng ồn bị phủ lấp hoặc giảm nhỏ một cách tự nhiên. Nếu chỉ nghe âm một tai hiệu quả này mất. Cho nên trong phòng có thời gian âm vang thích hợp để nghe âm hai tai sẽ trở nên quá dài, mức ồn tăng lên nếu chỉ nghe âm một tai.

Cơ cấu thính giác là một hệ thống thu âm định hướng. Cho đến nay, máy thu âm thu âm theo hiệu ứng nghe một tai.

10. Tác dụng lưu âm của thính giác

Tương tự như tác dụng lưu ảnh của mắt, tai người cũng có tác dụng lưu âm.

Thực nghiệm với hai tín hiệu âm cùng tính chất và áp suất, một tín hiệu âm bức xạ cách quãng 100 ms (1 miligiây = 10^{-3} giây), mỗi tín hiệu âm kéo dài 10 ms, một tín hiệu âm khác bức xạ cách quãng 20 ms, mỗi tín hiệu âm kéo dài 20 ms, hai tín hiệu âm nghe to nhỏ khác nhau, tín hiệu trước nghe từng tín hiệu một đều đặn, tín hiệu sau nghe như một tín hiệu kéo dài. Kết quả này do tác dụng lưu âm của tai người.

Thí nghiệm với nhiều thính giác bình thường cho thấy: nếu hai âm như nhau đến tai người cách nhau nhỏ hơn 50ms tai người không phân biệt được, nghe như một âm duy nhất.

Trong phòng, sau khi nguồn âm ngừng tác dụng, sóng âm phản xạ qua lại nhiều lần giữa các bề mặt trong phòng sẽ liên tục đến tai người với khoảng cách thời gian nhỏ hơn 50 ms, gây cảm giác âm vang, nếu khoảng cách thời gian giữa các âm phản xạ này đến tai người lớn hơn 50 ms sẽ nghe âm lặp lại, âm sau lặp lại âm trước, gọi là hiện tượng tiếng dội. Để tránh hiện tượng này phải làm sao cho các âm đến tai người không chênh lệch nhau quá 50 ms. Trong không khí nhiệt độ 20°C, vận tốc âm **C** = 340m/s, tương ứng với thời gian chênh lệch 50 ms, quãng đường chênh lệch **ΔL** bằng:

$$\Delta L = \frac{340}{1000} 50 = 17 \text{ mét}$$

Như vậy, nếu hai nguồn âm đồng bộ S_1 và S_2 khoảng cách đến tai người nghe bằng L_1 và L_2:

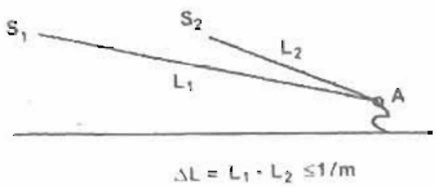
$$\Delta L = L_1 - L_2 \leq 17 \text{ mét}$$

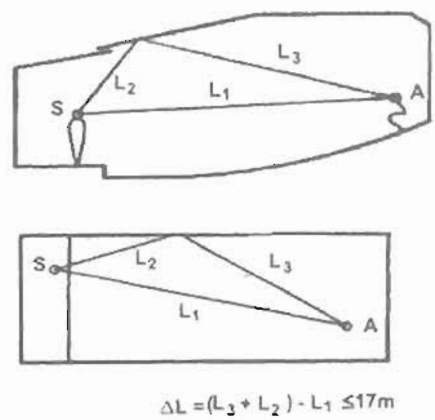
Nếu ở trong phòng, nguồn âm **S**, quãng đường trực tiếp L_1 từ **S** tới **A**, quãng đường âm phản xạ bằng $(L_1 + L_2)$ (hình 1 - 32).

$$\Delta L = (L_1 + L_{23}) - L_1 \leq 17 \text{ mét}$$

Sẽ nghe như một âm duy nhất kéo dài.

Những âm phản xạ đến sau âm trực tiếp trong vòng 50 ms là những âm phản xạ có ích, có tác dụng hỗ trợ cho âm trực tiếp. Những âm phản xạ đến sau âm trực tiếp ngoài 50 ms là những âm phản xạ vô ích, nếu những âm phản xạ vô ích này có mức âm còn đủ lớn sẽ là những âm lặp (tiếng dội) nếu không phải tiếng dội sẽ trở thành âm vang có hại, che lấp âm phát ra sau, là giảm độ rõ.





Hình 1 - 32. Tác dụng lưu âm của thính giác

IV. ÂM VẬT LÝ VÀ ÂM HÌNH HỌC

1. Âm vật lý (còn gọi là âm dao động)

Lý thuyết nghiên cứu bản chất dao động sóng của âm thanh gọi là âm vật lý.

Hiện tượng cộng hưởng, sự phân bố áp suất và khuếch tán năng lượng âm trong phòng đều thông qua những dao động sóng đứng trong không gian khép kín, phụ thuộc vào kích thước, hình dáng không gian, tính chất phản xạ, hấp thu và hình dáng của các bề mặt giới hạn, giải pháp bố trí trang thiết bị và tổ chức nội ốc, v.v... trong không gian đó.

Phân tích chính xác những hoạt tính đích thực của sóng âm trong không gian khép kín thuộc phạm trù của âm vật lý.

Vận dụng âm vật lý để phân tích sẽ cho kết quả tương đối chính xác, nhưng sẽ dẫn tới những phép tính cồng kềnh và phức tạp. Cho tới nay cũng chưa có thể dựa vào âm vật lý để

xây dựng một loạt những công thức tính toán hoàn chỉnh, tiện dụng để thiết kế chất lượng âm trong không gian kín.

2. Âm hình học (tia bức xạ âm)

Âm hình học, nghiên cứu tính chất của âm thanh bằng phương pháp tia âm. Âm hình học coi sóng âm truyền đi trong không gian như những tia bức xạ, tương tự như tia sáng. Khi tới một bề mặt nào đó, một bộ phận năng lượng âm bị hấp thu, một bộ phận xuyên qua và một bộ phận phản xạ trở ra. Nếu kích thước mặt phản xạ lớn hơn chiều dài bước sóng tới, khi đó tia tới, tia phản xạ tuân theo định luật quang hình học.

Khi áp dụng phương pháp âm hình học để nghiên cứu tính chất của trường âm trong phòng thường dựa vào những giả thuyết sau:

- Những tia âm bức xạ từ nguồn, qua nhiều lần phản xạ liên tục, năng lượng âm hoàn toàn khuếch tán trong phòng.

- Trong quá trình tăng dần và tắt dần của trường âm chỉ xét sự tồn tại tần số của nguồn âm, bỏ qua những dao động khác.

Âm hình học bỏ qua sự tồn tại tần số dao động riêng và hiện tượng cộng hưởng của phòng, tính chất khuếch tán của trường âm trong phòng.

Những phân tích trên đây cho thấy: những tần số thấp, số lượng tần số dao động riêng (cộng hưởng) của phòng xuất hiện rất ít, tần số càng cao số lượng tần số cộng hưởng của phòng xuất hiện càng nhiều. Cho nên đối với âm tần số thấp, tính chất khuếch tán rất kém, nhất là những âm có chiều dài bước sóng xấp xỉ kích thước của phòng, vì vậy âm của những tần số này dễ bị méo.

Khi chiều dài bước sóng của sóng âm nhỏ hơn rất nhiều so với kích thước phòng, tương đương với kích thước bề mặt trong phòng, âm hình học mới cho kết quả gần đúng thực tế, phù hợp với âm vật lý. Đa số các phòng, âm hình học chỉ thích hợp với những tần số $f \geq 250$Hz. Phòng lớn hơn thích hợp với âm tần số thấp hơn.

Trong ứng dụng thực tế, phương pháp âm hình học đơn giản, giúp tìm được những giải pháp kiến trúc thích hợp dễ dàng, nắm vững những hạn chế của phương pháp âm hình học, kết hợp với những khái niệm rút ra từ âm vật lý để tìm những phương pháp hiệu chỉnh phù hợp có thể đạt được kết quả mong muốn.

Đối với những phòng nhỏ như phòng phát thanh, vì rằng phải thiết kế với phạm vi tần số tương đối rộng, bao gồm từ tần số thấp đến tần số cao. Cho nên khi thiết kế, ít nhất về phương diện định tính, cố gắng vận dụng tối đa âm vật lý.

Những công thức tính toán trong sách này đều là những công thức gần đúng của âm hình học, chỉ những nội dung cần thiết mới bổ sung thỏa đáng âm vật lý.

3. Cơ sở của âm hình học

Khi nghiên cứu tính chất phản xạ và khuếch tán âm trên các bề mặt giới hạn của phòng, âm vật lý dùng khái niệm mặt sóng, còn âm hình học dùng phương pháp tia âm, coi tia âm truyền đi trong không gian như tia sáng, khi tới trên các bề mặt, tia âm có thể phản xạ định hướng, có thể phản xạ tán xạ (khuếch tán), tính chất này phụ thuộc vào hình dáng, kích thước bề mặt từ đó sóng âm phản xạ ra.

Khi kích thước bề mặt phản xạ lớn hơn chiều dài bước sóng của sóng âm tới, tia âm phản xạ định hướng và tuân theo định luật quang hình học. Kiến trúc quan âm tới phản xạ định hướng.

Định luật quang hình học:

- Góc tới (i) bằng góc phản xạ (i').

- Tia tới, tia phản xạ, pháp tuyến của mặt phản xạ, nằm trong cùng một mặt phẳng vuông góc với mặt phản xạ (hình 1 - 33).

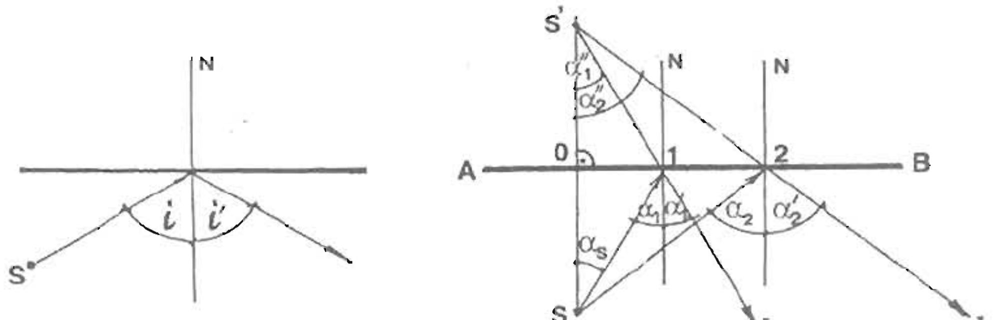
Định luật này cho phép kiến trúc sư thiết kế các bề mặt phản xạ phù hợp để đưa âm phản xạ định hướng tới khu vực mong muốn.

Nguyên lý âm hình học:

Giả sử có mặt phẳng **AB** (hình 1- 33), nguồn âm điểm **S**. Tia âm tới **S - 1** và **S - 2** hợp với pháp tuyến của mặt **AB** những góc tới α_1 và α_2.

Từ mặt **AB**, các tia phản xạ **1 - I**$_1$; **2 - I**$_2$ hợp với pháp tuyến của mặt **AB** những góc phản xạ α'_1 và α'_2.

Từ **S** hạ đoạn thẳng **SO** vuông góc với **AB**, kéo dài tia phản xạ tới gặp **SO** kéo dài tại **S'**.



Định luật quang hình học — Nguyên lý âm hình học

Hình 1 - 33

Ta có: $\alpha_1 = \alpha_1'$ và $\alpha_2 = \alpha_2'$

$\alpha_1'' = \alpha_1'$ và $\alpha_2'' = \alpha_2'$

$\alpha_1 = \alpha_S$ và $\alpha_1'' = \alpha_S$

Tam giác **SS'1** cân:

S1 = S'1

SO = OS' → **S'** gọi là nguồn ảo của **S** qua **AB**.

Từ đó dễ dàng nhận thấy: muốn xác định các tia phản xạ **1 - I_1** và **2 - I_2**, chỉ cần dựng **S'S** vuông góc với **AB**, lấy **SO = OS'**.

Từ **S'** vạch qua **1** và **2** đồng thời kéo dài, ta có các tia phản xạ **1 - I_1** và **2 - I_2**.

Tia phản xạ như xuất phát từ nguồn ảo **S'** tới gặp các giao điểm của tia tới với mặt **AB**.

Các tia phản xạ từ các bề mặt lồi hay lõm cũng xác định bằng các tương tự.

Giả sử có một mặt lõm **D** (hình 1 - 34) bán kính ρ, để đơn giản, đặt nguồn âm **S** trên đường kính qua tâm **O** của mặt lõm. Tia phản xạ **1 - I** xuất phát từ **S'_1**.

Xác định **S'_1** như sau:

Vẽ tiếp tuyến qua **1** (vuông góc với bán kính **01**).

Từ **S** hạ đường vuông góc xuống tiếp tuyến; lấy **SA = AS'_1**.

Bằng cách tương tự, xác định được **S'_2**.

Hai tia phản xạ gặp nhau tại **I** (**I** là tiêu điểm âm).

Tại tiêu điểm âm, áp suất âm tăng lên gấp bội, một hiện tượng xấu của trường âm trong phòng.

Khi thiết kế các mặt cong lõm trên trần, tường chọn bán kính cong ρ, sao cho tiêu điểm âm **I** không rơi trên vùng chỗ ngồi của khán giả.

Thường bán kính cong của trần bằng 1,5 ÷ 2 lần chiều cao phòng hoặc nhỏ hơn rất nhiều chiều cao phòng.

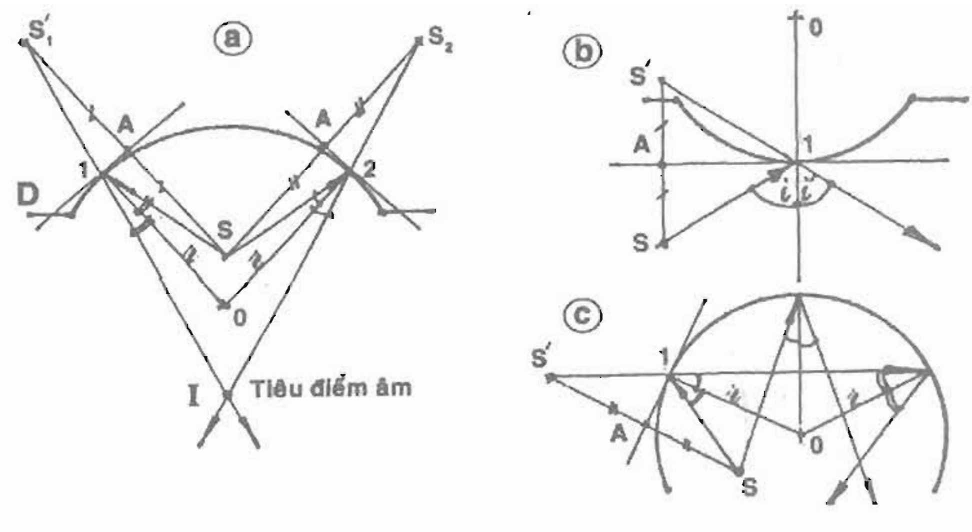
Nếu thiết kế tường sau cong, tâm cong đặt ở ngoài phòng.

Đối với mặt cong lồi cũng xác định tương tự (hình 1 - 34).

Hiệu quả phản xạ khuếch tán của những mặt cong lõm rất kém, thường phản xạ men theo bờ cong. Ngược lại mặt cong lồi khuếch tán âm tốt hơn, do đó thường được sử dụng rộng rãi.

Áp dụng nguyên lý này dễ dáng xác định được xu hướng, kích thước của mặt tường, trần đưa âm phản xạ tới khu vực chỗ ngồi mong muốn (hình 1 - 35).

Cần lưu ý: quãng đường âm phản xạ không chênh lệch quá 17m (50ms) so với quãng đường của âm trực tiếp tương ứng. Đồng thời kích thước của mặt phản xạ lớn hơn chiều dài bước sóng của sóng âm tới mới có hiệu quả.



Hình 1- 34

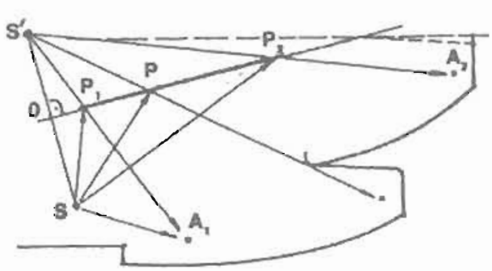
4. Thiết kế mặt phản xạ âm

Giả sử có mặt cắt phòng như hình 1 - 36. Nguồn âm **S**. Theo điều kiện kiến trúc cho phép, chọn điểm P_1, tia tới SP_1, tia phản xạ P_1A_1.

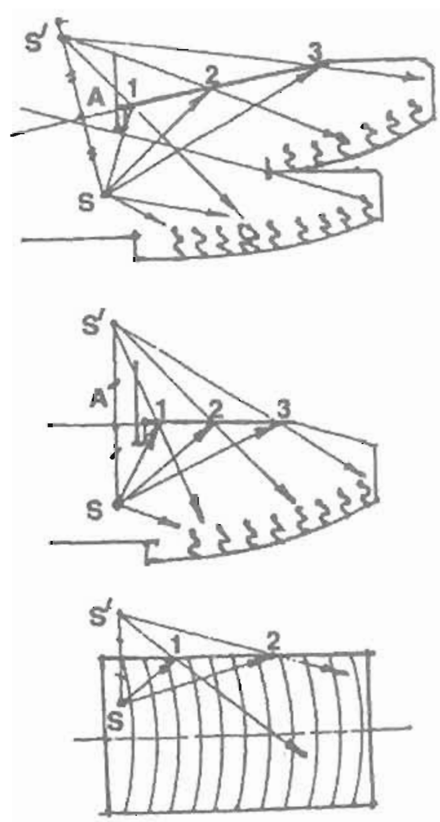
Trên phương P_1A_1 kéo dài $P_1S' = P_1S$. Nối **SS'**. Từ P_1 dựng đường vuông góc với **SS'** cắt **SS'** tại **O**. OP_1 là vị trí mặt phản xạ cần có.

Nếu muốn mặt phản xạ này đưa âm phản xạ tới vùng khán giả A_1A_2, từ nguồn ảo **S'** vạch tia $S'A_2 \rightarrow OP_1P_2$ là mặt phản xạ cần tìm.

Kích thước mặt phản xạ xác định bằng phương pháp này cần cộng thêm mỗi phía 0,5m.



Hình 1 - 36



Hình 1 - 35

5. Yêu cầu đối với mặt phản xạ âm

a) Về mặt âm thanh:

- Tăng cường âm phản xạ cho những chỗ ngồi xa để bổ sung cho âm trực tiếp bị tắt dần quá nhanh theo khoảng cách tới nguồn.

- Đảm bảo rằng năng lượng âm phân bố đều trên toàn vùng chỗ ngồi.

- Cấu trúc âm phản xạ có ích tốt nhất phù hợp với âm nhạc và lời nói.

b) Về quy mô và phẩm chất của mặt phản xạ:

- Kích thước của mặt phản xạ đủ lớn so với chiều dài bước sóng của sóng âm cần phản xạ. Theo kinh nghiệm, mặt phản xạ ở trần thường lớn hơn 3 - 3,5m và suốt cả chiều rộng phòng. Mặt phản xạ ở tường hai bên gần miệng sân khấu nên rộng 5 - 6m và suốt cả chiều cao phòng.

- Đủ độ cứng và đủ khối lượng để phản xạ âm tần số thấp. Theo kinh nghiệm khối lượng của mặt phản xạ, **$P \geq 2kg/m^2$**

Chương 2

VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU HÚT ÂM

I. NGUYÊN LÝ HÚT ÂM VÀ HỆ SỐ HÚT ÂM

Khái niệm chung

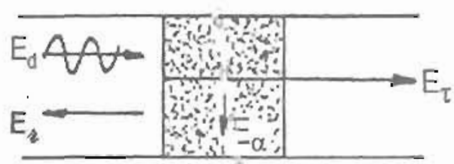
Khi sóng âm tới bề mặt kết cấu hay vật thể bất kỳ, năng lượng âm tới E_d sẽ phân thành ba bộ phận:

- Một bộ phận phản xạ trở ra E_β

- Một bộ phận tổn thất trong vật liệu E_α

- Một bộ phận xuyên qua kết cấu tiếp tục lan truyền đi E_τ

Tương ứng, chúng ta có các hệ số phản xạ β, hệ số hấp thu α và hệ số xuyên qua τ (hình 2 - 1).



Hình 2 - 1. Đo trong ống

Khả năng hút âm của hầu hết vật liệu xây dựng dựa vào tính rỗng của nó.

Vật liệu xây dựng thông thường đều có độ rỗng, chỉ khác nhau ở mức độ.

Sóng âm tới gây ra một áp lực trên bề mặt kết cấu, áp lực này đẩy không khí dao động lui tới trong khe rỗng, do đó năng lượng âm bị tiêu hao.

Khi tới trên kết cấu dễ uốn, sóng âm cưỡng bức kết cấu dao động uốn cong, trở lực uốn cong càng lớn, năng lượng âm tiêu hao càng nhiều. Do đó thường dùng vật liệu rỗng, kết cấu dễ uốn để hút âm.

Ngoài ra còn có vật liệu đặc chế chuyên dụng để hút âm.

1. Hệ số hút âm

Hệ số hút âm α, theo vật lý như đã biết, kiến trúc quan tâm tới năng lượng tổn thất so với năng lượng tới:

$$\alpha = \frac{E_\alpha + E_\tau}{E_d} \quad \text{và } \beta + \alpha = 1$$

Khả năng hút âm của vật liệu phụ thuộc vào tính chất vật lý của bản thân vật liệu, phương thức cấu tạo, tần số, phương tới của sóng âm v.v ... Do phụ thuộc vào nhiều nhân tố như vậy nên hệ số hút âm thường xác định bằng thực nghiệm.

- Sự phụ thuộc vào tần số của sóng âm, thực nghiệm thường xác định giá trị của α đối với 6 loại tần số: 125; 250; 500; 1000; 2000 và 4.000 Hz.

- Sự phụ thuộc vào phương tới của sóng âm, khắc phục bằng cách thực nghiệm trong trường âm khuếch tán.

- Như vậy hệ số hút âm, về giá trị là lượng trung bình đối với mọi góc tới khác nhau của sóng âm, xác định trên $1m^2$ vật liệu. Do đó, lượng hút âm của vật liệu hay kết cấu bằng:

$$S\alpha \text{ , } m^2 \text{ (hay Sabin)}$$

Trong đó: **S** - diện tích bề mặt của vật liệu hay kết cấu, m^2.

α - hệ số hút âm của $1m^2$ vật liệu hay kết cấu đó.

2. Nguyên lý hút âm

Nói nguyên lý hút âm tức là nói nguyên nhân gây ra tổn thất năng lượng âm khi vật liệu (hay kết cấu) tiếp xúc với trường năng lượng âm.

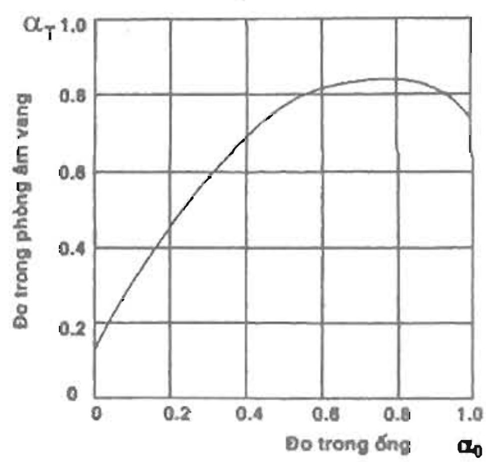
Khi sóng âm tới trên bề mặt vật liệu sẽ gây ra một áp lực, cưỡng bức vật liệu (hay kết cấu) dao động uốn cong, năng lượng âm phải tiêu hao để thắng sức cản nội bộ duy trì dao động, kết quả năng lượng âm biến thành năng lượng cơ, và cuối cùng biến thành nhiệt năng, nếu vật liệu rỗng trong quá trình sóng âm xuyên qua khe rỗng phải sử dụng năng lượng để thắng trở lực ma sát và tính nhớt của không khí, gây cho các sợi xơ và không khí dao động lui tới trong khe rỗng, kết quả biến năng lượng âm thành năng lượng nhiệt.

3. Thực nghiệm xác định hệ số hút âm α của vật liệu

Có 2 phương pháp thực nghiệm:

- Thực nghiệm đo trong phòng thời gian âm vang, hệ số hút âm: α_T

- Thực nghiệm đo trong ống, hệ số hút âm: α_0



Hình 2 - 2. So sánh α_T và α_0

- α_T: xác định trong trường âm khuếch tán, điều kiện thực nghiệm gần với thực tế, do đó thường sử dụng trong thiết kế.

• α_0: xác định trong điều kiện sóng âm tới thẳng góc với mặt vật liệu, giá trị $\alpha_0 < \alpha_T$. Thực tế thường sử dụng α_0 trong nghiên cứu hoặc đánh giá chất lượng sản phẩm, (hình 2- 2) đồ thị so sánh giá trị α_T và α_0.

II. PHÂN LOẠI VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU HÚT ÂM

Theo tính chất của vật liệu và kết cấu hút âm, theo nguyên lý hút âm có thể phân vật liệu và kết cấu âm thường dùng hiện nay gồm bốn loại cơ bản sau đây:

- Vật liệu xốp, rỗng.
- Bản mỏng dao động cộng hưởng hút âm.
- Lọ không khí, bản đục lỗ, không khí dao động cộng hưởng hút âm.

Khoa học kỹ thuật phát triển, ngày càng có nhiều vật liệu và kết cấu hút âm, có thể tóm tắt gồm 4 loại cơ bản trong bảng sau (bảng 2-1). Trên cơ sở 4 loại này, trong thực tế thiết kế, theo ý đồ tổ chức nội ốc, nghiên cứu phát triển các dạng kết cấu hợp lý.

1. Vật liệu xốp rỗng

Vật liệu xốp rỗng gồm các loại sản phẩm dệt: vải, dạ, len, thảm, v...v....

Các loại vật liệu sợi: bông, bông khoáng chất, bông thủy tinh v...v....

Các loại vật liệu gia công: giấy bồi, tấm sợi gỗ ép, bã mía ép, vữa xốp v...v....

Nói chung vật liệu xốp, rỗng là vật liệu có nhiều lỗ rỗng li ti xuyên suốt qua vật liệu, các khe rỗng đan vào nhau trong vật liệu, vách của các khe rỗng có thể trơn, có thể bằng những sợi xơ đàn hồi.

Nguyên lý hút âm

Khả năng hút âm của vật liệu rỗng phụ thuộc trước hết vào tính rỗng của nó. Khi sóng âm tới, không khí trong các khe rỗng dao động, năng lượng âm được sử dụng để chống lại tác dụng ma sát và tính nhớt của không khí dao động giữa các vách rỗng, một phần năng lượng âm sẽ xuyên qua vật liệu, do đó khả năng hút âm của loại vật liệu này phụ thuộc vào sức cản dòng không khí dao động, vận tốc dao động của các phần tử không khí trong khe rỗng. Nếu vật liệu có đủ tính rỗng, chiều dày phù hợp, vật liệu này có khả năng hấp thụ tới 95% năng lượng âm tới trên nó.

Tổn thất năng lượng âm để chống lại tính nhớt của không khí đánh giá bằng lực cản ♠ đối với dòng không khí thổi qua khe rỗng, lực cản này xác định bằng tỷ số:

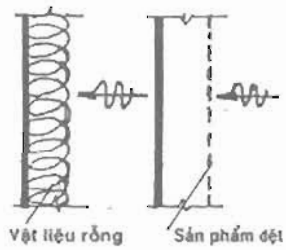
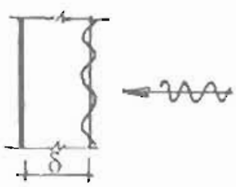
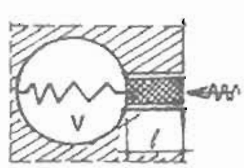
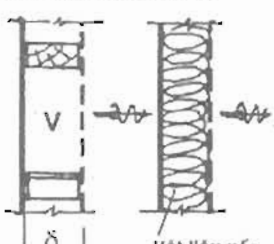
$$\spadesuit = \frac{\Delta P}{v.\delta} \ (N.S/cm^4)$$

Trong đó: ΔP - hiệu số áp suất trên hai bề mặt của vật liệu (N/cm^2)

v - vận tốc của dòng không khí thổi qua khe rỗng (cm/s).

δ - chiều dày của vật liệu (cm).

Bảng 2.1. Phân loại vật liệu hút âm

Chủng loại	Đặc điểm	Nguyên lý hút âm	Phạm vi ứng dụng $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$
Vật liệu rỗng hút âm 	- Vật liệu rỗng bọc ngoài. - Sản phẩm dệt.	- Sóng âm cưỡng bức không khí trong khe rỗng dao động, trở lực ma sát, tính nhớt biến năng lượng âm thành năng lượng nhiệt. - Không khí dao động lui tới qua sản phẩm dệt, ma sát tiêu hao năng lượng âm.	Chủ yếu hút âm tần số cao và trung.
Bản mỏng dao động cộng hưởng hút âm. 	Bản mỏng đặt cách tường một khoảng trống δ, có thể để trống có thể đặt vật liệu rỗng xuyên không khí.	Áp lực âm cưỡng bức bản dao động uốn cong. Trở lực uốn cong tiêu hao năng lượng âm.	Hút âm tần số thấp.
Lọ Hémohol 	Lọ không khí chôn trong kết cấu, miệng lọ hướng vào phòng, cổ lọ có hoặc không có vật liệu rỗng.	Sóng âm tới cưỡng bức khối không khí dao động lui tới trong cổ lọ, trở lực ma sát của thành cổ lọ tiêu hao năng lượng âm.	Hút âm tần số thấp và trung, tính lực chọn tần số hút âm rất mạnh.
Bản đục lỗ (liên hiệp lọ Hémohol) 	Bản đục lỗ đóng trên hệ sườn gỗ gắn trên tường. Có thể đệm hoặc để trống, khoảng cách δ.	Nguyên lý hút âm giống như tập hợp nhiều lọ Hémohol chung một bụng lọ.	Hút âm tần số thấp, trung và cao.

Và:

$$♠_1 = ♠.\delta = \frac{\Delta P}{v} \quad (N.S/cm^3)$$

gọi là lực cản toàn phần đối với dòng không khí thổi qua khe rỗng, phụ thuộc chiều dày của vật liệu. Vật liệu rỗng khác nhau, lực cản ♠ khác nhau rất nhiều, số liệu thực nghiệm trong bảng 2-2.

Vị trí đặt vật liệu rỗng

Vị trí lắp đặt ảnh hưởng rất lớn tới khả năng hút âm của vật liệu:

Chẳng hạn, một tấm vải mỏng bố trí trên mặt tường cứng, khả năng hút âm của vải phụ thuộc vào khoảng cách giữa tấm vải với mặt tường. Kết quả thực nghiệm (hình 2-3). Sóng âm tới tần số 950 Hz, phương tới vuông góc với mặt vải, hệ số hút âm α lớn nhất khi vải cách mặt tường cứng 9cm, bằng 1/4 bước sóng λ, âm tần số 2700 Hz, α lớn nhất khi đặt vải cách tường 9cm bằng 3/4 bước sóng λ, v.v...

Hệ số hút âm α nhỏ nhất tương ứng với tần số 1800 Hz, khoảng cách đến tường bằng 9cm bằng 1/2 bước sóng λ.

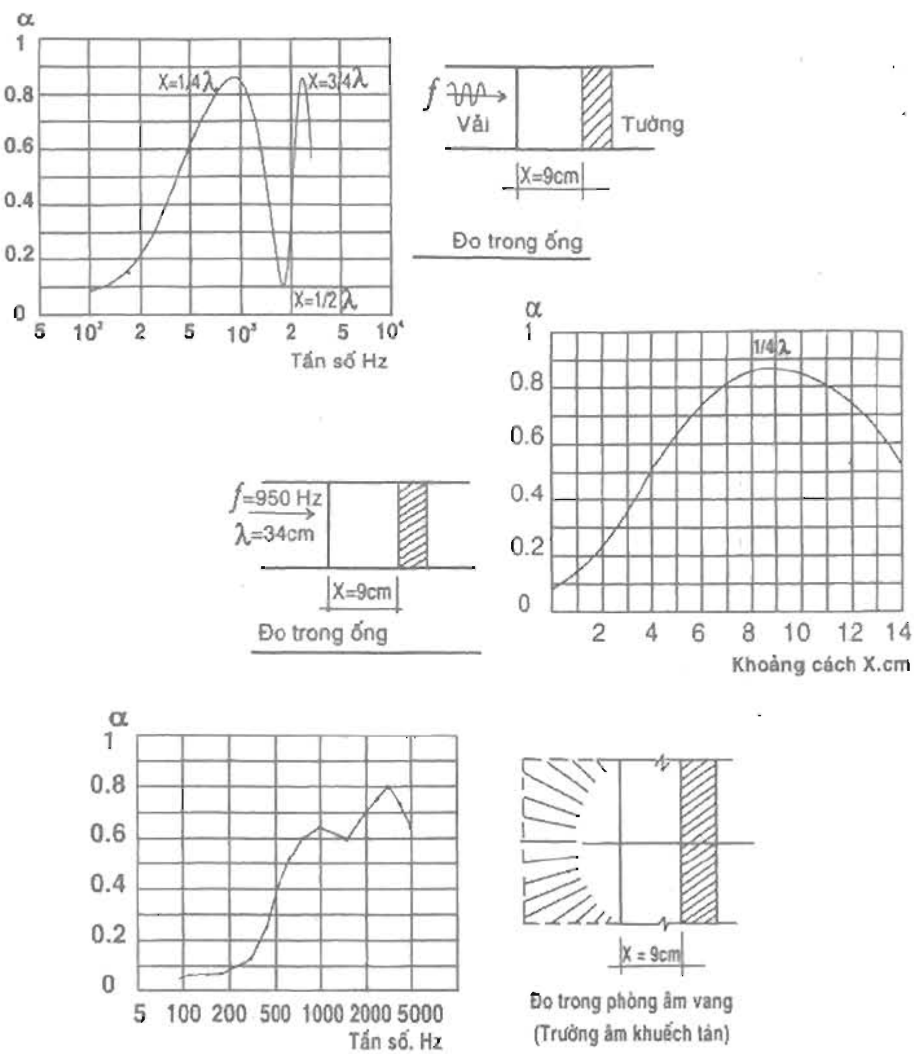
Cũng tấm vải đó, thực nghiệm trong trường âm tới khuếch tán, kết quả như hình 2-3.

Bảng 2 - 2. Lực cản ♠ của một vài vật liệu xốp rỗng

Vật liệu	♠ (N.S/ cm^4)	♠$_1$ (N.S/ cm^4)
Sợi bông khoáng và bông thủy tinh	0,0001 – 0,003	
Nỷ	0,00015 – 0,0009	
Tấm sợi gỗ 2000 – 2500 N/m^3	0,035 – 0,26	
Vữa xốp hút âm	0,00008 – 0,0006	
Vữa trát thông thường	0,08 – 0,33	
Vải thô thưa		0,00003
Vải hoa thưa		0,00005 – 0,00006
Vải thủy tinh		0,00003 – 0,001

Trong phòng nếu căng một lớp vải cách trần hoặc tường một khoảng cách phù hợp, hiệu quả hút âm sẽ rất cao, treo vải trên mặt kính có lợi để che nắng và hút âm.

Những vật liệu rỗng dạng sợi dày 2,5 – 5cm hoặc dày hơn gọi là thảm. Đặt thảm trên bề mặt cứng, quá trình hút âm của nó có thể mô tả như hình 2 - 4.



Hình 2 - 3. Kết quả đo α

Năng lượng âm tới E_1 một phần phản xạ trở lại E_2, một phần xuyên vào vật liệu E_3, phần năng lượng này tổn thất dần để thắng lực cản ma sát và tính nhớt do không khí dao động giữa các vách khe rỗng, khi tới vách ngăn, một phần năng lượng sẽ phản xạ trở ra E_4, phương lan truyền đổi chiều và tổn thất một lần nữa, nếu năng lượng E_3 sau hai lần lan truyền trong khe rỗng tắt gần hết, chỉ còn một phần năng lượng rất bé bức xạ trở lại vào không khí, khi đó E_3 có thể coi như hoàn toàn bị hấp thụ và $\alpha = E_3 / E_1$. Năng lượng E_3 tăng theo sự tăng tính rỗng của vật liệu và giảm khi lực cản trên đơn vị chiều dài đường đi của dòng không khí tăng.

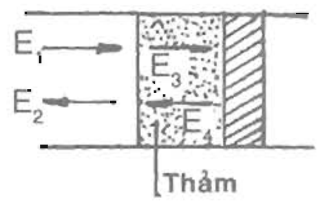
Nếu E_3 tắt dần không hết (do lực cản nhỏ hoặc chiều dày không đủ) E_4 sẽ tăng và ra khỏi thảm, bổ sung vào E_2 khi đó $\alpha = 1 -$ [illegible].

Chọn chiều dày hợp lý

Khi thiết kế, chọn chiều dày của thảm hợp lý sẽ đảm bảo đạt được hiệu quả cao nhất đồng thời tiết kiệm vật liệu.

Chiều dày kinh tế của thảm có thể xác định bằng công thức:

$$\delta = \frac{800}{\sqrt{r.\omega.f}} \quad \text{(cm)}$$



Hình 2 - 4. Đo trong ống

Trong đó: r - lực cản (N/cm^4)

ω - độ rỗng của thảm, thường từ 0,6 – 1

f - Tần số của sóng âm tới (Hz).

Bảng 2- 3. Chiều dày hợp lý của một số vật liệu xốp

Vật liệu xốp	Chiều dày hợp lý (cm)
Bông nõn	Đến 79
Bông, sợi bông	Đến 40
Thảm len, thảm lông	Đến 18
Sợi khoáng chất	Đến 9
Vữa trát khô	3,5
Các tông	2
Tấm sợi gỗ (2000 – 2500 N/cm^2)	0,75
Tấm thạch cao xốp	0,6

Thường người thiết kế quan tâm nhiều đến khả năng hút âm tần số thấp (100Hz) của thảm. Khi độ rỗng của thảm ω = 0,8 chiều dày của thảm bằng:

$$\delta = \frac{800}{\sqrt{r.0,8.100}} \approx \frac{90}{\sqrt{r}}$$

Nếu đặt thảm trên mặt cứng phản xạ âm, α sẽ lớn nhất khi:

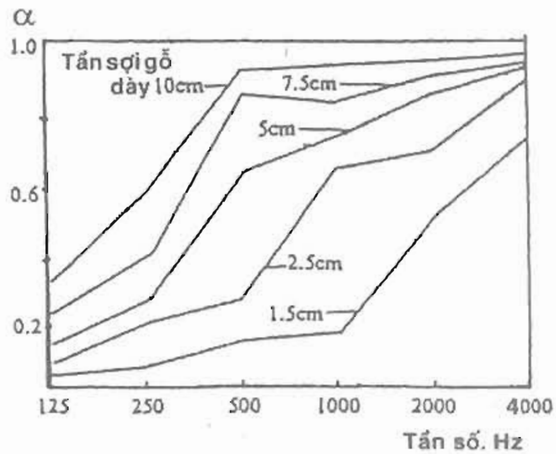
$$80 < \delta.r < 160 \quad (N/S/cm^3)$$

Nếu đặt thảm cách mặt phản xạ cứng một lớp không khí, α lớn nhất khi:

$$40 < \delta.r < 160 \quad (N/S/cm^3)$$

Căn cứ vào công thức này xác định chiều dày hợp lý của thảm và vật liệu rỗng nói chung (bảng 2 - 3).

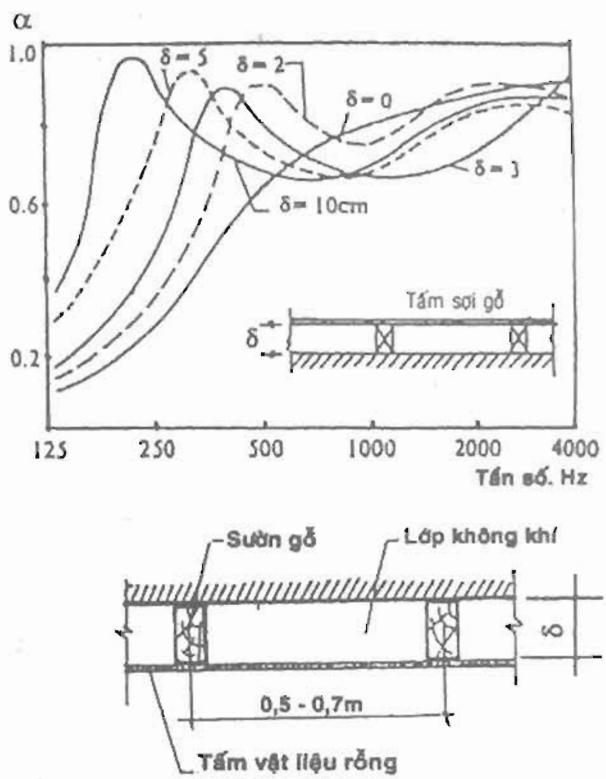
Với chiều dày xác định, hệ số hút âm α của vật liệu rỗng ở tần số thấp giảm rõ rệt. Mức độ tắt dần của sóng âm xuyên vào vật liệu sẽ giảm khi tỷ số δ/λ giảm, mức độ tắt dần lớn nhất khi $\delta/\lambda \approx 1$, điều này giải thích nguyên nhân hút âm kém đối với tần số thấp của vật liệu rỗng. Tăng chiều dày có thể tăng khả năng hút âm tần số thấp của thảm (hình 2- 5).



Hình 2 - 5. Chiều dày vật liệu và α

Thảm hay vật liệu rỗng, hút âm tần số cao tốt hơn âm tần số thấp, nên thường sử dụng để hút âm tần số cao.

Khi sử dụng vật liệu rỗng thường kèm theo tấm ốp đục lỗ, vừa để bảo vệ vừa tăng thêm mỹ quan. Tấm ốp đục lỗ thường dày 3 - 6mm bằng gỗ dán, cáctông, lá kim loại v.v ... do có tấm ốp đục lỗ nên một chừng mực nhất định ảnh hưởng tới khả năng hút âm tần số cao nhưng tăng thêm khả năng hút âm tần số thấp.

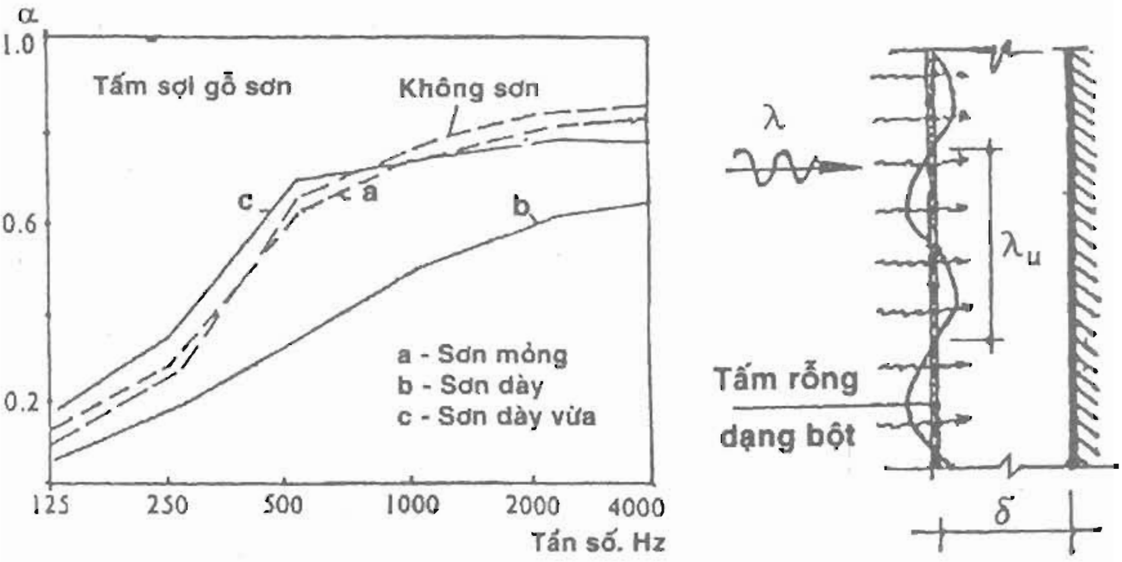


Hình 2 - 6. Cấu tạo và hiệu quả hút âm của tấm vật liệu rỗng

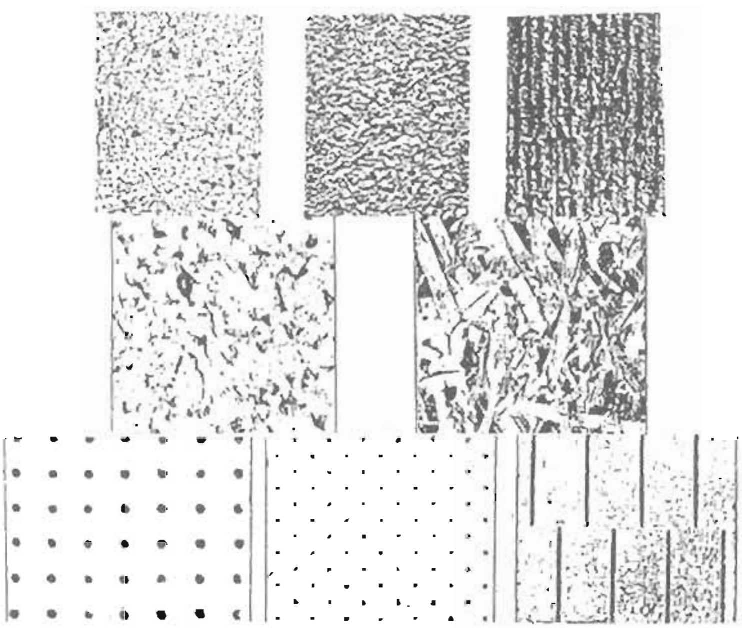
Cấu tạo vật liệu rỗng

- Vật liệu rỗng chế tạo thành những tấm cứng có thể hoặc bố trí trực tiếp trên nền cứng hay trên hệ sườn cách tường 5 - 10cm. Các sườn gỗ ngang dọc này nên cách nhau 0,5 - 0,7m (hình 2 - 6).

- Vật liệu rỗng dạng bọt như vữa xốp, bê tông bọt v.v... đặt những tấm vật liệu này cách tường 5 - 10cm sẽ tăng khả năng hút âm tần số thấp, vì khi đó năng lượng âm mất đi không những do âm tần số cao xuyên qua khe rỗng mà còn tiêu hao để thắng lực cản uốn cong của tấm vật liệu. Loại vật liệu này thường có khối lượng từ 1000 - 1200kg/m^3. Để tăng mỹ quan có thể tạo nên những vân nổi hoặc những rãnh lõm trên bề mặt của vật liệu (hình 2-7).



Hình 2 - 7. Cấu tạo và hiệu quả hút âm của tấm vật liệu sợi



Hình 2 - 8. Các tấm hút âm đặc chế và phương pháp xử lý bề mặt

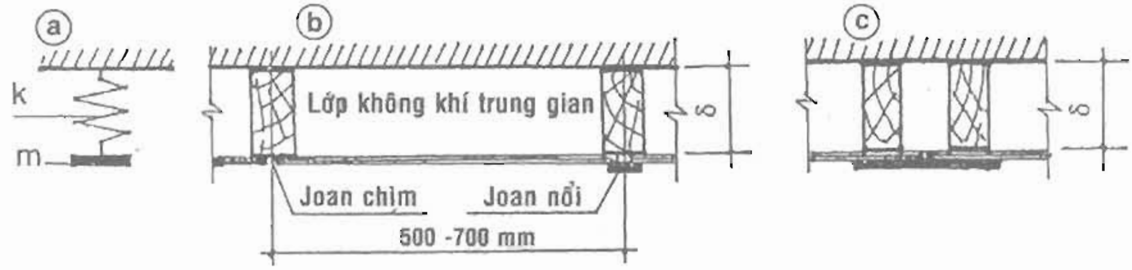
- Vật liệu rỗng dạng sợi như tấm bông amiăng, tấm sợi gỗ v.v... đặc biệt là những tấm sợi gỗ, tấm dăm bào, vừa rẻ, nhẹ, khối lượng từ 200 – 250kg/cm^3 có lực cản ẩ rất cao, có thể đục lỗ hoặc để phẳng, nếu đục lỗ tròn, đường kính lỗ 3 – 6mm, khoảng cách 10 – 20mm, hoặc tạo rãnh sâu khoảng 2/3 chiều dày của tấm.

Khuyết điểm của tấm sợi gỗ: dễ cháy, nhiều trường hợp do yêu cầu mỹ quan phủ một lớp sơn trên mặt vật liệu, chú ý không phủ sơn che lấp các khe rỗng làm giảm khả năng hút âm của vật liệu. Nên dùng phương pháp phun sơn không nên quét sơn (hình 2- 8).

2. Bản mỏng dao động cộng hưởng hút âm

Bản mỏng dao động cộng hưởng hút âm có khả năng hút âm tương đối cao đối với âm tần số thấp, đồng thời khuếch tán âm tốt.

Bản cộng hưởng cấu tạo như (hình 2 - 9), gồm một bản mỏng có thể bằng gỗ dán, cáctông amiăng, lá kim loại v.v .. đặt cố định trên hệ khung gỗ gắn trên tường, lớp không khí giữa bản mỏng và tường để trống, hoặc nhồi vật liệu rỗng.



Hình 2 - 9. a) Sơ đồ làm việc; b, c) Sơ đồ cấu tạo

Nguyên lý hút âm

Do cấu tạo, bản mỏng có tác dụng như một vật nặng, khối lượng **m**, lớp không khí trung gian như một lò so đàn hồi. Hai nhân tố này hình thành một hệ dao động đơn giản. Dưới tác dụng biến thiên của áp suất âm, cưỡng bức bản mỏng biến hình, vì bốn cạnh bản cố định, do đó gây ra tổn thất ma sát trong nội bộ bản, năng lượng âm chuyển thành năng lượng cơ, cuối cùng biến thành nhiệt năng.

Nếu bỏ qua tính đàn hồi của bản thân, bản tần số dao động riêng f_0 của bản có thể xác định bằng biểu thức:

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{m.\delta}} \quad \text{(Hz)}$$

Trong đó: **m** - khối lượng bề mặt của bản (kg/m^2).

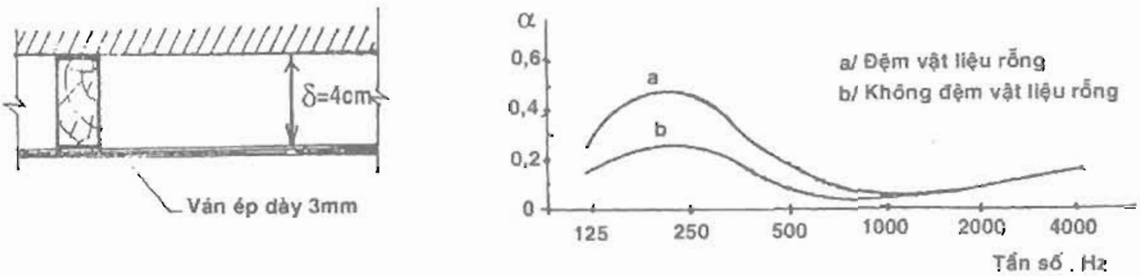
δ - chiều dày lớp không khí sau bản (cm).

Khi tần số của sóng âm tới xấp xỉ bằng tần số dao động riêng của bản, dao động uốn cong của bản lớn nhất - cộng hưởng, năng lượng âm tiêu hao nhiều nhất. Vì lý do đó nên gọi bản dao động cộng hưởng hút âm, tần số dao động riêng của bản khá thấp do đó sử dụng để hút âm tần

số thấp. Tần số của sóng âm tới cao hơn tần số dao động riêng của bản, khả năng hút âm của bản giảm rõ rệt.

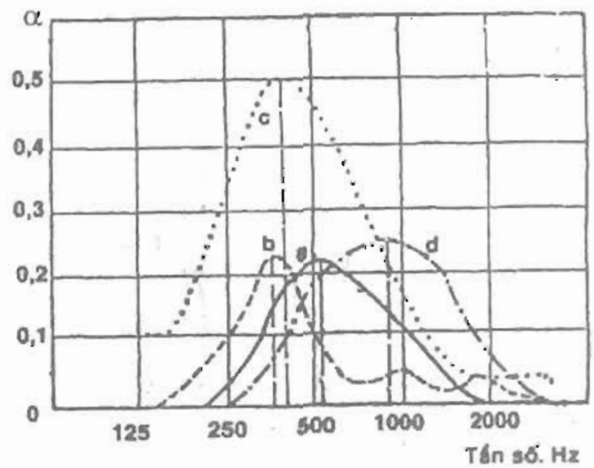
Tần số dao động riêng (còn gọi là tần số cộng hưởng) f_0 của bản phụ thuộc vào tính chất vật lý của bản, khối lượng, độ cứng của kết cấu.

Độ cứng của kết cấu tổng hợp từ độ cứng riêng của bản, phương pháp liên kết bản vào khung, liên kết khung vào tường v.v ... (hình 2 - 10).



Hình 2 - 10. Cấu tạo bản mỏng dao động cộng hưởng hút âm.
a) Đệm vật liệu rỗng; b) Không đệm vật liệu rỗng

Hình 2 - 11. Hệ số hút âm α phụ thuộc tần số.
Cùng một loại bản mỏng, thay đổi chiều dày lớp không khí trung gian. Hệ số hút âm cực đại thay đổi theo tần số, nhưng không thay đổi đặc tính giá trị



Để tăng khả năng hút âm của bản, thường nhồi bông khoáng trong lớp không khí trung gian, hoặc đệm vật liệu đàn hồi theo chu vi bản liên kết với khung để giảm rung (hình 2 - 12).

Bằng cách thay đổi khối lượng m của bản, chiều dày của lớp không khí trung gian, sẽ có nhiều loại kết cấu tần số dao động riêng f_0 khác nhau, phân công mỗi loại kết cấu đảm nhiệm hấp thu một phạm vi tần số nào đó. Tổng hợp toàn bộ các phạm vi tần số sẽ có một phạm vi tần số đủ rộng như ý muốn (hình 2 -13).

Thông thường thiết kế các loại kết cấu bản mỏng có tần số dao động riêng f_0 cách nhau 1/2 quãng tần số: 125, 187, 250 Hz, v.v...

Muốn mở rộng phạm vi tần số dao động riêng của loại kết cấu này, có thể đặt khung cách tường để hệ khung cũng dao động được, khi đó bản và hệ khung là một hệ dao động tổ hợp gồm 2 tần số dao động riêng f_{01} và f_{02}.

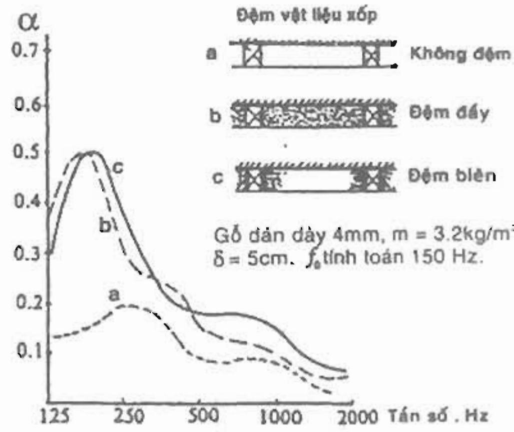
$$f_{01} = \frac{600}{\sqrt{(m_1 + m_2).\delta}} \; ; \; f_{02} = \frac{600}{\sqrt{m_2.\delta}} \quad \text{(Hz)}$$

Trong đó:

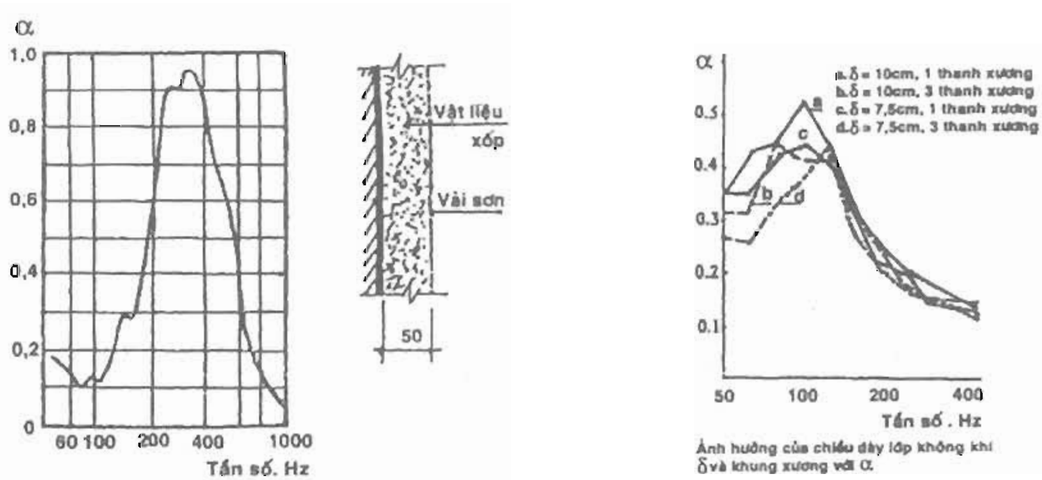
f_{01} - tần số dao động riêng do bản và khung cùng dao động.

f_{02} - tần số dao động riêng do bản thân bản dao động độc lập.

m_1; m_2 - khối lượng bề mặt khung và bản (kg/m^2).



Hình 2 - 12. Ảnh hưởng của lớp đệm đối với α



Hình 2 - 13. Tính lựa chọn tần số cấu tạo bản dao động cộng hưởng hút âm

Kết cấu bản cộng hưởng cấu tạo thành dạng hình trụ có tác dụng khuếch tán âm tốt.

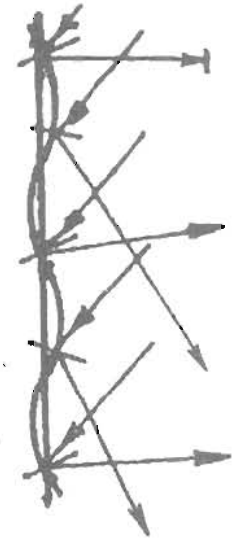
Một ưu điểm khác của bản cộng hưởng là tính chất phản xạ khuếch tán những sóng âm tới trên nó (hình 2 –14).

Sóng phản xạ trên toàn mặt bản có thể coi như sóng tổng hợp tạo thành do sự chồng chất của nhiều sóng có tần số khác nhau phản xạ từ những góc khác nhau, hình thành trường âm phản xạ khuếch tán.

Những nhân tố ảnh hưởng

Những nhân tố chủ yếu ảnh hưởng tới khả năng hút âm và khuếch tán âm của loại kết cấu này phụ thuộc vào khả năng có thể dao động biến hình của bản, cụ thể phụ thuộc vào:

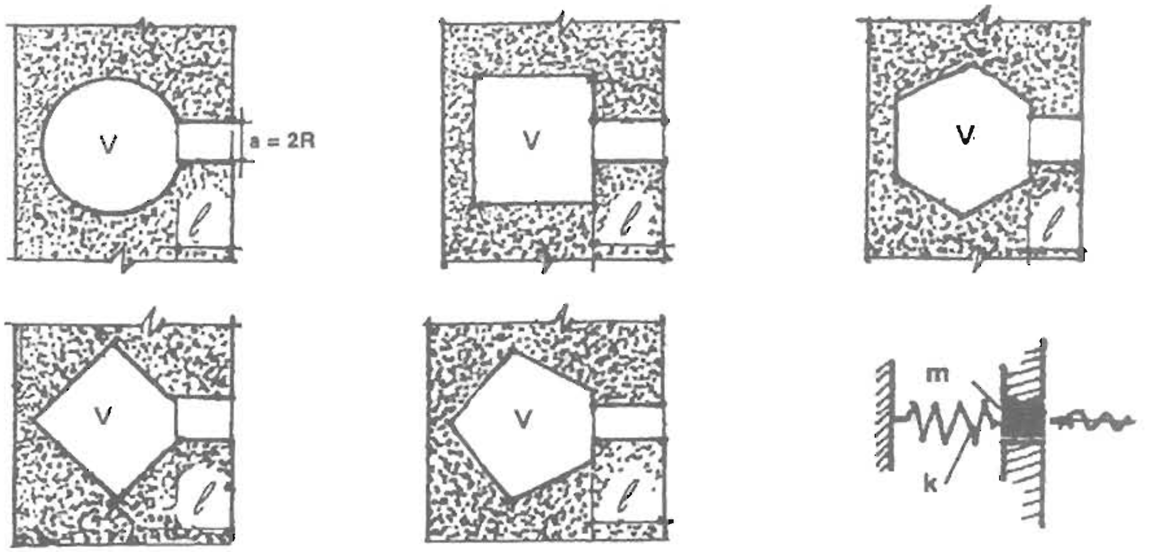
- Thông số vật lý của vật liệu.
- Kích thước và hình thức cấu tạo của kết cấu.
- Phương thức lắp đặt kết cấu (ghép trên gỗ hay trên tường).



Hình 2 - 14

3. Lọ không khí dao động cộng hưởng hút âm (còn gọi là hémohol)

Lọ hémohol cấu tạo giống như những lọ thường thấy, bụng lọ kín, có thể tròn, vuông, đa giác. Cổ lọ có chiều dài nhất định, không khí trong bụng lọ thông với không khí trong phòng qua miệng lọ. Thể tích bụng lọ bé. Lọ chôn trong tường, trần, miệng lọ nhìn vào phòng (hình 2 - 15).



Hình 2 - 15. Lọ Hémohol

Nguyên lý hút âm

Khi chiều dài bước sóng của âm tới lớn hơn kích thước của lọ, sóng âm kích động các phần tử không khí trong cổ lọ dao động lui tới như một piston.

Không khí trong bụng lọ không thoát được và thể tích lớn hơn cổ lọ rất nhiều nên có tác dụng như một lò xo đàn hồi **K**, co dãn theo dao động lui tới của cột không khí trong cổ lọ.

Như vậy có thể coi cột không khí trong cổ lọ và trong bụng lọ như một hệ dao động đơn giản (hình 2 - 15), khi đó tần số dao động riêng của lọ có thể xác định bằng công thức gần đúng:

$$f_0 = \frac{C}{2.\pi}.\sqrt{\frac{S}{l_{K}.V}}$$

Trong đó: S/l_K - hệ số truyền sóng;

$S = \pi.R^2$ - diện tích tiết diện ngang của cổ lọ (cm^2);

R - bán kính cổ lọ (cm);

C - vận tốc sóng 34.000 (cm/s);

V - thể tích bụng lọ (cm^3);

l_K - chiều dài có ích của cổ lọ (cm).

$$l_K = l + \frac{\pi.R}{2} = (l + 1{,}57.R)$$

Vậy:

$$f_0 = \frac{C}{2.\pi}.\sqrt{\frac{\pi.R^2}{V.(l + \frac{\pi.R}{2})}}$$

Trong đó: l - chiều dài thực tế của cổ lọ (cm);

R - bán kính của cổ lọ (cm).

Tần số cộng hưởng

Tần số của sóng âm tới nếu xấp xỉ bằng tần số dao động riêng f_0 của lọ, xuất hiện cộng hưởng, khả năng hút âm của lọ sẽ lớn nhất, vì khi đó ma sát giữa cột không khí và thành cổ lọ mãnh liệt nhất.

Tần số f_0 gọi là tần số cộng hưởng của lọ.

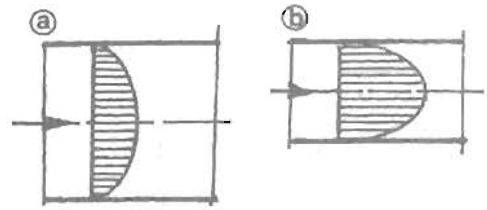
Từ công thức dễ dàng nhận thấy rằng: chỉ cần thay đổi **R**, **V** và l sẽ có những lọ cộng hưởng tần số f_0 khác nhau và không có quan hệ với hình dáng của lọ.

Tăng khả năng hút âm của lọ

Khi cộng hưởng, tốc độ dao động của cột không khí tăng lên hàng trăm lần so với bình thường, do đó nếu đặt một ít bông thủy tinh trong lọ, hoặc bịt miệng lọ bằng một lớp vải mỏng, thành cổ lọ nhám, sẽ tăng trở lực ma sát, tăng khả năng hút âm của lọ.

Trở lực ma sát của cột không khí trong cổ lọ phụ thuộc vào kích thước tiết diện ngang của cổ lọ. Khi kích thước này lớn, các phần tử không khí trên mặt phẳng thẳng góc với cổ lọ sẽ dao động với vận tốc xấp xỉ ngang nhau. Một lượng nhỏ những phần tử không khí sát vách cổ lọ có vận tốc bằng 0. Ma sát giữa các lớp không khí với nhau rất nhỏ (hình 2 - 16a).

Ngược lại khi cổ lọ bé, vận tốc của các phần tử không khí trên mặt phẳng vuông góc với cổ lọ khác nhau tương đối lớn, hình thành nhiều lớp không khí dao động trong cổ lọ với vận tốc khác nhau, trở lực ma sát tăng lên (hình 2 - 16b). Do đó trong ứng dụng thực tế, thường thiết kế cổ lọ không lớn quá, đường kính cổ lọ nên ≤ 6 - 8 cm.



Hình 2 - 16

Lọ Hémohol có thể sử dụng độc lập bằng cách chôn trong tường, trần, đảm bảo khoảng cách hợp lý, vì mỗi lọ có một vùng tác dụng nhất định, nếu khoảng cách gần quá, các vùng tác dụng chồng lên nhau, không phát huy hết khả năng hút âm của mỗi lọ. Ngược lại nếu xa quá sẽ không tương hỗ cộng sinh hiệu lực.

Lọ Hémohol liên hợp dưới hình thức bản đục lỗ, dễ dàng tổ chức khoảng cách lỗ đục hợp lý. Khi đó cổ lọ là lỗ đục, bụng lọ là lớp không khí phía sau bản.

Nguyên lý thiết kế hai loại kết cấu này khác nhau, sau đây chúng ta sẽ phân tích từng loại một:

3.1. Lọ Hémohol độc lập

Muốn cho lọ có khả năng hút âm cao, phải thiết kế lọ nhỏ, mật độ lọ trên đơn vị diện tích có thể thiết kế phù hợp yêu cầu.

Thường không đặt vật liệu xốp trong bụng và cổ lọ, miệng lọ không bịt vải, ở tần số cộng hưởng lượng hút âm cực đại A_0 phụ thuộc tần số cộng hưởng:

$$A_0 = \lambda_0^2 / 2.\pi \qquad \text{(Sabin) hay } (m^2)$$

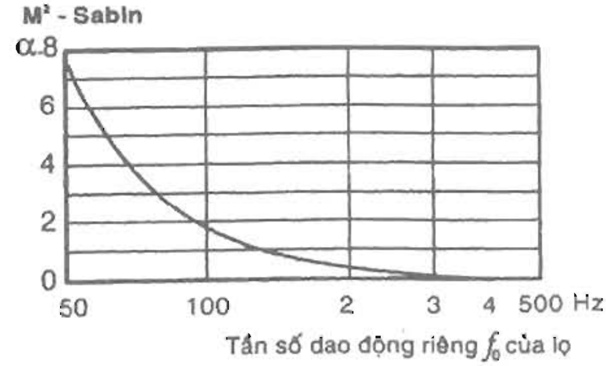
Trong đó: λ_0 – chiều dài bước sóng tương ứng với tần số cộng hưởng f_0 (m).

Ở tần số cộng hưởng khả năng hút âm của lọ lớn nhất và khả năng này giảm rất nhanh theo sự tăng hoặc giảm tần số của sóng âm tới so với tần số cộng hưởng f_0, hoàn toàn không phụ thuộc vào thể tích bụng lọ và kích thước cổ lọ, chỉ khi nào điều chỉnh trở lực ma sát của lọ đạt tới giá trị tốt nhất mới có được trị số hút âm lớn nhất. Trở lực ma sát lớn hơn giá trị tổn thất, lượng hút âm nhỏ hơn giá trị cho trong biểu đồ (hình 2 - 17).

Chiều rộng dải tần số Δf khi lượng hút âm $A \geq \frac{1}{2}.A_0$, bằng:

$$\Delta f = 8.\pi^2.\frac{V}{\lambda_0^3} f_0$$

Công thức này chứng tỏ rằng khi thể tích **V** của bụng lọ tăng, chiều rộng dải tần số Δf sẽ tăng (thí dụ thể tích bụng lọ **V = 0,05 m³** → tương đương 37 x 37 x 37 cm³:



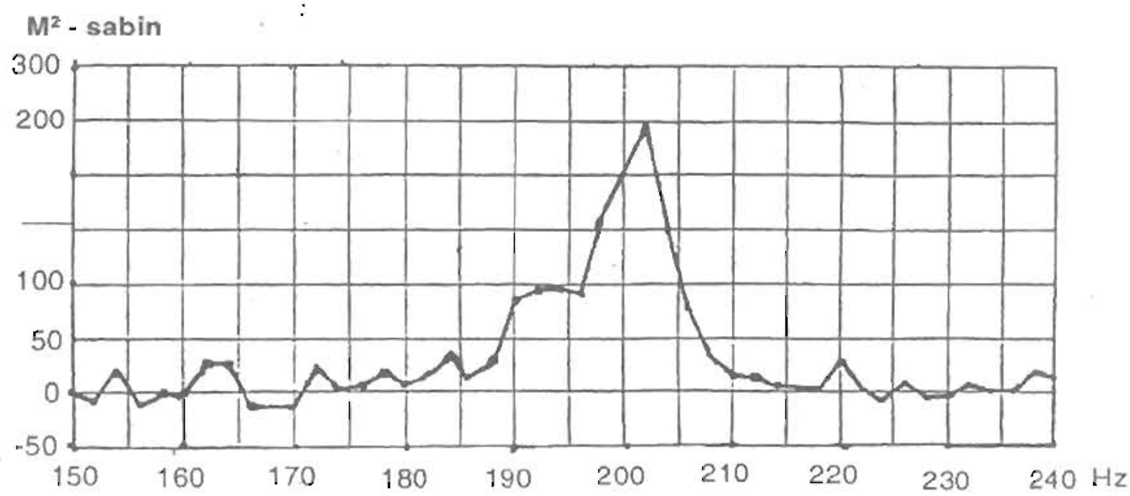
Hình 2 - 17. Số đơn vị hút âm lớn nhất với f_0 của lọ Hémohol

$$f_0 = 100 \text{ Hz}, \Delta f = 10 \text{ Hz}$$

Thể tích bụng lọ không nên lớn quá vì nguyên lý hút âm của lọ xây dựng trên cơ sở giả thiết ba kích thước của bụng lọ nhỏ hơn chiều dài bước sóng của tần số cộng hưởng.

Lọ Hémohol hút âm trong dải tần số rất hẹp, hơn nữa tính chọn lựa tần số rất cao, do đó nên thiết kế nhiều loại để mở rộng phạm vi tần số hút âm. Nếu sử dụng lọ để hấp thụ một âm đơn nào đó, lọ độc lập rất hữu dụng, chẳng hạn phòng có âm vang của một tần số nào đó quá dài.

Quan hệ giữa lượng hút âm của lọ Hémohol với tần số, đo trong phòng âm vang 3000m³, 1040 bình sửa lớn nhỏ khác nhau thường thấy. Phạm vi tần số đạt được lượng hút âm cao từ f = 188 ÷ 208 Hz (hình 2 - 18).



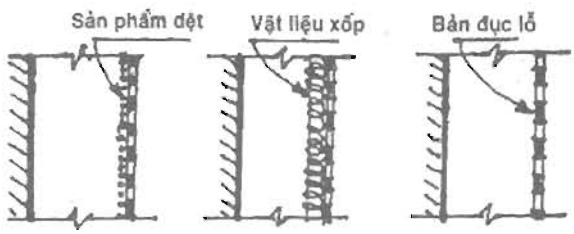
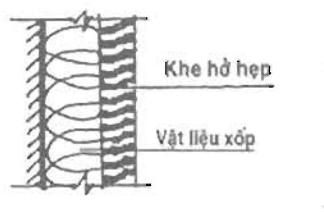
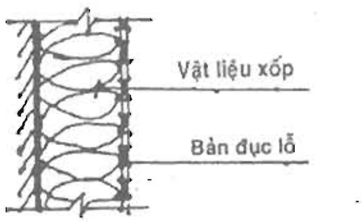
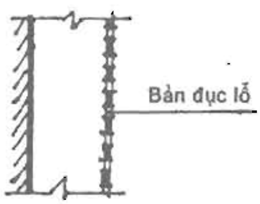
Hình 2 - 18. Quan hệ giữa lượng hút âm của lọ Hémohol với tần số

3.2. Bản đục lỗ không khí dao động cộng hưởng hút âm

Loại kết cấu này thực chất là một tổ hợp lọ Hémohol sử dụng rất phổ biến và phát triển thành nhiều dạng thức (bảng 2 - 4), thường sử dụng có mấy loại sau:

- Bản đục lỗ làm tấm ốp ngoài vật liệu xốp hút âm.
- Bản đục lỗ không khí dao động cộng hưởng hút âm.
- Bản mỏng dao động cộng hưởng hút âm, đục thêm một số lỗ để tăng khả năng hút âm tần số cao.

Bảng 2 - 4. Phát triển dạng thức bản đục lỗ hút âm

Hình thức cấu tạo	Nguyên lý hút âm	Phạm vi sử dụng
	Liên hợp lọ Hémohol hút âm, tăng cường bản dao động hút âm.	Hút âm tần số trung và cao.
	Không khí dao động cộng hưởng hút âm, vật liệu xốp hút âm.	Hút âm tấn số trung và thấp.
	Vật liệu xốp hút âm, bản đục lỗ ốp ngoài.	Hút âm tần số cao.
	Bản dao động cộng hưởng hút âm, tăng cường không khí dao động cộng hưởng hút âm.	Hút âm tần số trung và thấp.

Bản đục lỗ làm mặt ốp ngoài

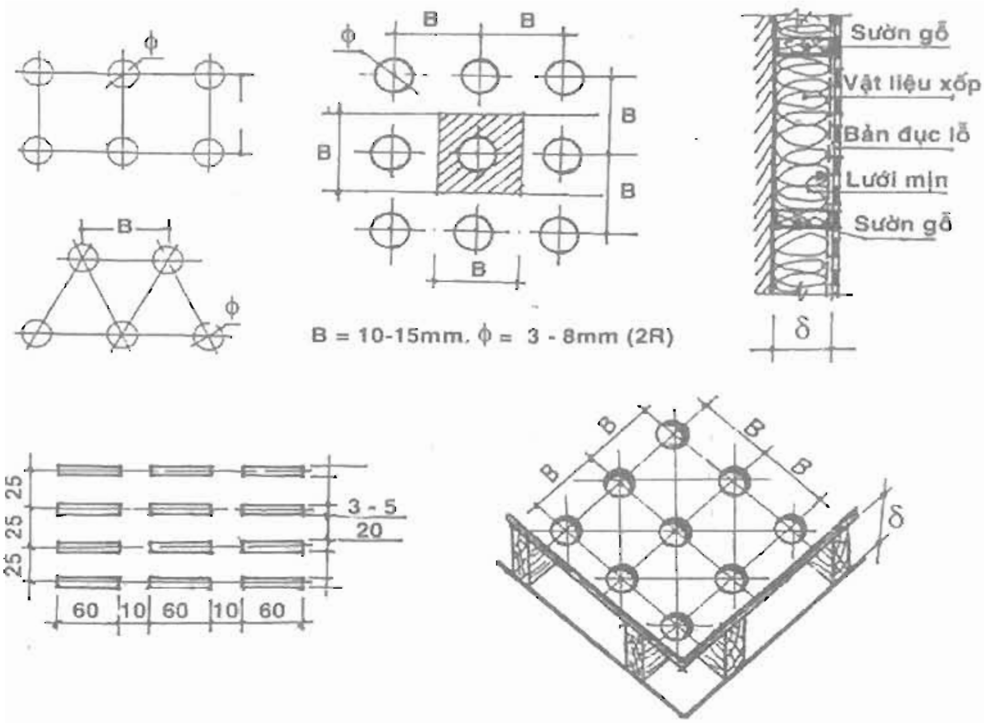
Nếu sử dụng vật liệu xốp như bông, bông khoáng v.v... để hút âm tần số cao, cần một lớp ốp ngoài dễ xuyên âm để bảo vệ, tránh những tổn hại cơ học, dễ làm vệ sinh, tăng mỹ quan trong phòng v.v... Lớp ốp dễ xuyên âm thường dùng những bản đục lỗ bằng gỗ dán, lá kim loại, cáctông, amiăng, v.v...

Bản đục lỗ làm mặt ốp sẽ che khuất một phần bề mặt vật liệu xốp, nhưng do tác dụng nhiễu xạ của sóng âm, một phạm vi tần số tương đối rộng có thể xuyên qua bản đục lỗ. Đối với âm thấp tần (chiều dài bước sóng λ lớn hơn nhiều so với kích thước lỗ đục), phần bản không đục như những chướng ngại, sóng âm tới sẽ đi vòng qua. Khi tia sóng tới vuông góc với mặt bản, lưu lượng sóng âm đi qua lỗ đục rất lớn so với lưu lượng sóng âm đi qua diện tích trống tương đương trong không gian tự do. Vì vậy, khả năng hút âm thấp tần vốn có của bản không suy giảm còn có thể tăng do tác dụng uốn cong của bản và dao động cộng hưởng của không khí. Đối với âm cao tần, chiều dài bước sóng λ nhỏ, hiệu quả nhiễu xạ thấp cho nên khi có lớp ốp, một phần bề mặt của vật liệu xốp bị che khuất, khả năng hút âm tần số cao sẽ giảm, nhưng không giảm theo tỷ lệ với phần diện tích bị che khuất. Muốn tăng khả năng hút âm, suất đục lỗ **P** (tỷ lệ giữa diện tích đục lỗ với diện tích bản), **P > 20%**. Hình thức lỗ đục có thể tròn, dài (hình 2 – 19).

Bảng 2 - 5. Bảng tính suất lỗ đục P%

P (%)	B/ϕ		P (%)	B/ϕ		P (%)	B/ϕ	
	□	Δ		□	Δ		□	Δ
0,5	12,5	13,5	2,5	5,60	6,02	12	2,56	2,76
0,6	11,4	12,3	3,0	5,12	5,49	14	2,37	2,54
0,7	10,6	11,4	3,5	5,74	5,09	16	2,22	2,38
0,8	9,91	10,6	4,0	4,23	4,53	18	2,09	2,24
0,9	9,34	10,0	4,5	4,18	4,49	20	1,98	2,13
1,0	8,86	9,52	5	3,96	4,26	25	1,77	1,90
1,2	8,09	8,69	6	3,62	3,85	30	1,62	1,74
1,4	7,49	8,04	7	3,85	3,60	35	1,50	1,61
1,6	7,00	7,52	8	3,13	3,36	40	1,39	1,49
1,8	6,60	7,09	9	2,95	3,17	45	1,32	1,42
2,0	6,17	6,62	10	2,80	3,01	50	1,25	13,5

Ghi chú: ϕ - đường kính lỗ đục; □ - lưới lỗ đục ô vuông; Δ - lưới lỗ đục so le.



Hình 2 - 19. Cấu tạo và một số dạng lỗ đục

Bản đục lỗ không khí dao động cộng hưởng hút âm (Liên hiệp lọ hémohol)

Loại kết cấu này thực chất là tổ hợp lọ Hémohol, lỗ đục chính là cổ lọ, có thể tròn hoặc dài, lớp không khí chung giữa bản và tường cứng đóng vai trò bụng lọ, lớp không khí có thể trống hoặc nhồi vật liệu xốp, có thể lót sau bản một lớp sản phẩm dệt. Bản đục lỗ bằng vật liệu đặc chắc, hút âm trong phạm vi tần số tương đối rộng, kinh tế hơn và hiệu quả hút âm cao hơn lọ độc lập, chủ yếu hút âm tần số trung rất mạnh.

Nguyên lý hút âm của loại kết cấu này giống như lọ Hémohol độc lập, khi sóng âm tới, một phần năng lượng sẽ phản xạ trở lại từ những phần mặt bản không đục lỗ, một phần kích động bản dao động uốn cong, còn phần lớn năng lượng kích thích các phần tử không khí dao động lui tới trong lỗ đục, năng lượng âm tiêu hao để thắng lực ma sát ở vách lỗ. Dao động của các phần tử không khí ở các lỗ đục lớn nhất khi tần số của sóng âm tới xấp xỉ bằng tần số dao động riêng (tần số cộng hưởng) f_0 của không khí trong lỗ đục

Tần số cộng hưởng f_0 của không khí trong các lỗ đục tương tự như tần số cộng hưởng của lọ Hémohol, có thể xác định bằng công thức:

$$f_0 = \frac{C}{2.\pi}.\sqrt{\frac{S}{l_K.V}} \quad \text{(Hz)}$$

Trong đó: $S = \pi.R^2$ – diện tích tiết diện ngang của mỗi lỗ đục (cm^2);

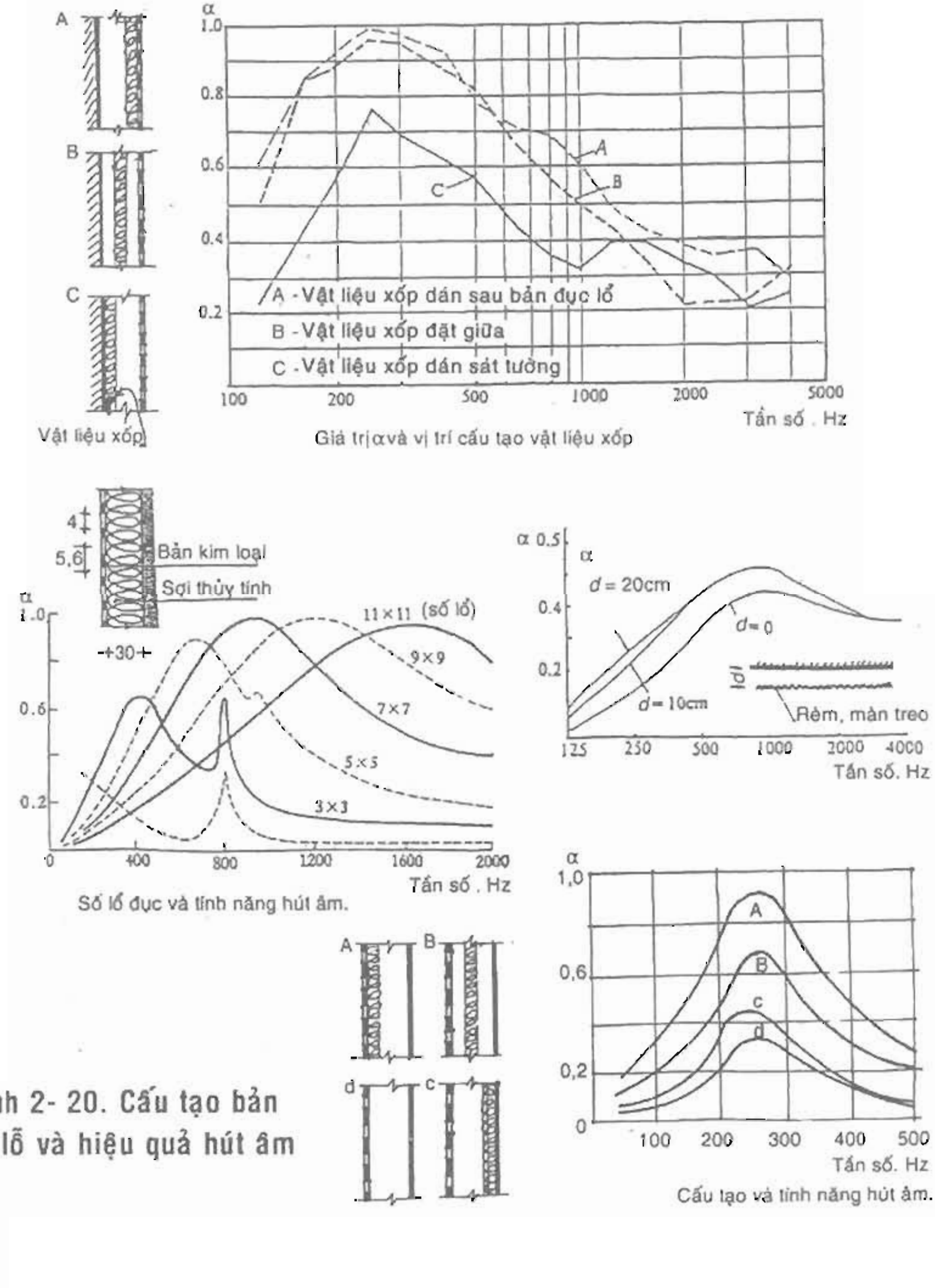
R – bán kính lỗ đục (cm), hình 2 – 19);

$V = B^2.\delta$ – thể tích khối không khí do mỗi lỗ đục chiếm (cm^3);

C – vận tốc sóng âm trong không khí (cm/s;)

$l_K = l + \pi.R/2$ – chiều dài có ích của cổ lọ (cm);

l – chiều dài thực tế của cổ lọ (cm).



Hình 2- 20. Cấu tạo bản đục lỗ và hiệu quả hút âm

Đặt: $G = S/l_K \rightarrow f_0 = \dfrac{C}{2.\pi}.\sqrt{\dfrac{G}{V}}$

Suất đục lỗ: $P = \dfrac{\text{Diện tích lỗ đục}}{\text{Diện tích bản}}.100\%$

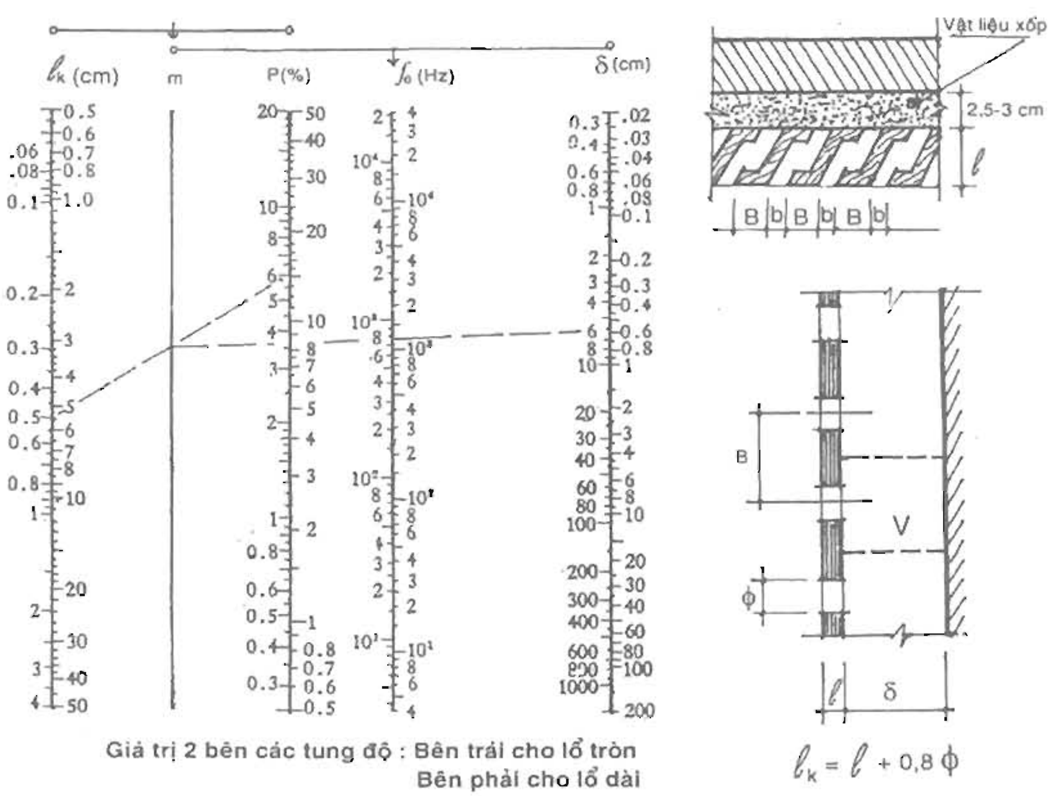
Trên diện tích B^2 (cm^2) có một lỗ đục diện tích $S = \pi.R^2$. Do đó:

$$P = \frac{S}{B^2} \rightarrow S = P.B^2$$

Vậy:

$$f_0 = \frac{C}{2.\pi}.\sqrt{\frac{S}{B^2.\delta.l_K}} = \frac{C}{2.\pi}.\sqrt{\frac{P.B^2}{B^2.\delta.l_K}} = \frac{C}{2.\pi}.\sqrt{\frac{P}{\delta.l_K}} \quad \text{(Hz)}$$

Nếu bụng của mỗi loại (**V**) bé (tức là số lỗ đục nhiều) hoặc chiều dày l_K càng mỏng giá trị f_0 của càng cao và ngược lại.



Hình 2 - 21. Toán đồ để xác định m và f_0

Ở cùng tần số f_0 nhưng phương tới của sóng âm khác nhau, khả năng hút âm của kết cấu khác nhau. Nếu sóng âm tới vuông góc với mặt bản, khả năng hút âm của kết cấu mạnh nhất, khi đó nếu lớp không khí giữa bản và tường thông suốt, không có vách ngăn, dao động cộng hưởng của các phần tử không khí ở tất cả các lỗ coi là cùng pha. Nếu sóng âm tới không vuông góc với mặt bản, dao động cộng hưởng của các phần tử không khí ở các lỗ sẽ khác pha, gây nhiễu lẫn nhau, những dao động tổng hợp yếu đi, khả năng hút âm giảm. Muốn khắc phục hiện tượng này có thể bằng cách phân chia lớp không khí sau bản thành nhiều ô, mỗi ô là một bụng chung một số cổ lọ, khoảng cách giữa các ô này xác định theo thực nghiệm (hình 2- 19), thông thường, thiết kế chiều dày δ = 1/4 chiều dài bước sóng λ_0 của tần số f_0.

Để đơn giản, khi tính toán, có thể sử dụng toán đồ Larít (hình 2 – 21):

- Biết suất đục lỗ **P**, chiều dày bản l, đường kính lỗ đục ϕ, chiều dày lớp không khí trung gian δ.

- Phương pháp xác định tần số cộng hưởng f_0 sau:

- Tính $l_K = (l + 0,8\phi)$. Thí du = 0,5 cm

- Xác định giá trị **P** (%). Thí dụ = 6%

- Nối 2 điểm giá trị l_K và **P** xác định được **m**.

- Nối **m** và δ (thí dụ 6cm) xác định được giá trị f_0.

Kết cấu loại này hút âm trong phạm vi tần số khá rộng. Nếu A_0 là số đơn vị hút âm cực đại ở tần số f_0, chiều rộng dải tần số bảo đảm hấp thu 0,5 A_0 thường trong khoảng Δf.

$$\Delta f = 4.\pi.\frac{f_0}{\lambda_0}.\delta$$

Trong đó: λ_0 - chiều dài bước sóng của f_0.

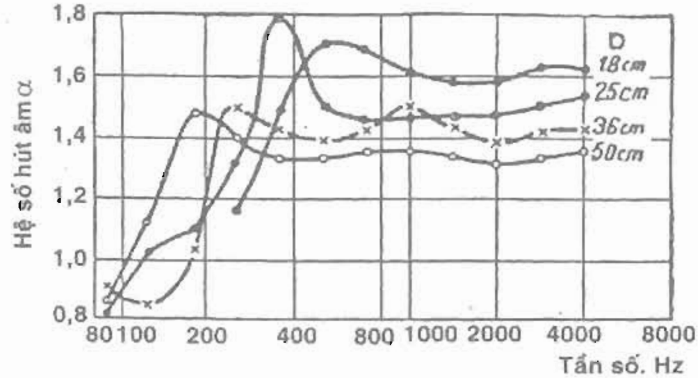
Biểu thức cho thấy, chiều rộng dải tần số tỷ lệ thuận với chiều sâu δ của bụng lọ (chiều dày lớp không khí trung gian), cũng thí dụ như lọ Hémohol độc lập, $V = 0,05m^3$, f_0 = 100Hz, ở đây chiều rộng dải tần số hấp thu 140Hz, gấp 10 lần chiều rộng dải tần số hấp thu của lọ Hémohol độc lập.

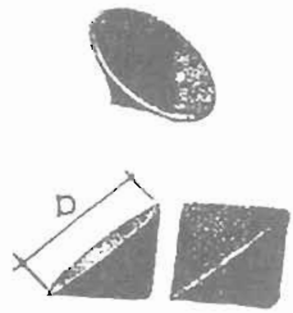
4. Chỏm hút âm (hình 2 - 22)

Khả năng hút âm của loại kết cấu này do sự nhiễu xạ của sóng âm khi tới trên kết cấu

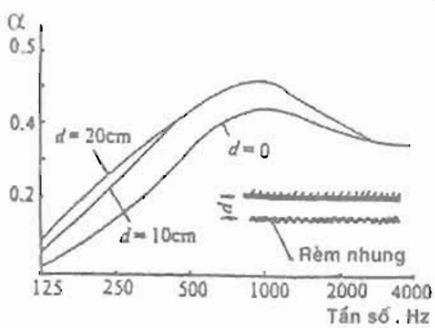
Để tăng trở lực ma sát thường đặt một lớp vật liệu xốp dày 1 - 2,5cm trong chỏm. Chỏm hút âm thường gắn trên trần để hút âm gần nguồn.

Lượng hút âm tổng hợp của nhiều chỏm biểu thị bằng lượng hút âm tương đương **A** = **S**.α (m^2). Khi kích thước của chỏm lớn hơn chiều dài bước sóng, lượng hút âm tương đương **A** trên đây mới đúng. Trong đó, α là hệ số hút âm của bề mặt kết cấu, diện tích **S**.

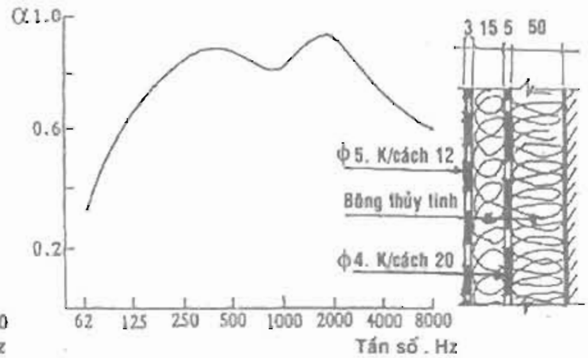




Hình 2 - 22. Chỏm hút âm
Quan hệ giữa α và tần số của chỏm hút âm



Hệ số hút âm của Rèm treo tường



Cấu tạo kép mở rộng phạm vi tần số hút âm

Hình 2 - 22a

5. Khe hở ở không khí dao động cộng hưởng hút âm (hình 2 - 23)

Khe hở hẹp, chạy suốt chiều dài bụng không khí.

Nguyên lý hút âm của loại kết cấu này cũng như lọ Hémohol. Tần số dao động riêng f_0 của kết cấu có thể xác định như sau:

$$f_0 = \frac{C}{2.\pi} . \sqrt{\frac{b}{F.l_K}} \quad \text{(Hz)}$$

Trong đó: **C** - vận tốc sóng âm trong không khí (cm/s);

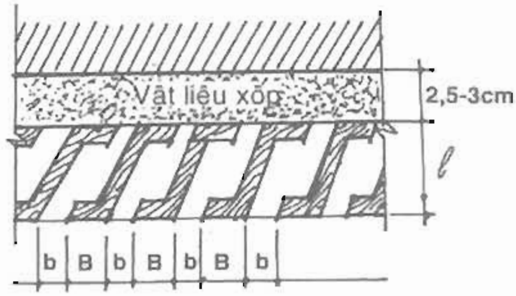
b - chiều rộng khe hở (cm);

F - diện tích tiết diện ngang của bụng lọ vuông góc với khe hở (cm^2);

l - chiều sâu khe hở, (cm);

l_K - chiều dài có ích của cổ lọ (cm).

$$l_K = l + \frac{2.b}{\pi}.\left(1,12 + ln\frac{C}{\pi.b.f_0}\right)$$



Hình 2 - 23

Như vậy:

$$f_0 = \frac{C}{2.\pi}.\sqrt{\frac{b}{\left[l + \frac{2.b}{\pi}.\left(1,12 + ln\frac{C}{\pi.b.f_0}\right)\right].F}} \quad \text{(Hz)}$$

Nếu b bằng diện tích một đơn vị chiều dài của khe hở, F sẽ bằng thể tích của một đơn vị chiều dài bụng lọ, khi đó công thức trên tương tự như công thức đã dẫn đối với lọ Hémohol độc lập. Chiều rộng **b** của khe hở thường từ 10 – 20% chiều rộng của thanh dọc (**B**).

Loại kết cấu này sử dụng độc lập, hoặc cấu tạo liên hợp.

Khe hở độc lập thường dùng trong phòng khán giả hoặc phòng phát thanh để hút âm phản quy hoặc hấp thu một số tiếng ồn nào đó.

Lượng hút âm lớn nhất A_0 ở tần số cộng hưởng bằng:

$$A_0 = \frac{\lambda_0}{\pi} \quad m^2 \text{ – Sabin/m dài khe hở}$$

Khe hở hẹp liên hợp (tổ hợp) thường đặt trên tường bên, bụng khe hở để trống hoặc đệm vật liệu xốp như: bông, bông khoáng v.v... dầy khoảng 2,5 - 3 cm. Thanh gỗ dọc có thể dùng những nẹp gỗ đóng rích rắc, mục đích che khuất bụng không khí, tăng trở lực ma sát.

Khi xử lý chất lượng âm ở công trường, có thể dùng những thanh gỗ đơn giản rộng 2,5cm, dày 1,25cm đặt trên trần hay tường, hoặc dùng những thanh gỗ dày 2,5cm, rộng 4cm, khe hở 1 – 2 cm tạo thành kết cấu khe hở hẹp hút âm.

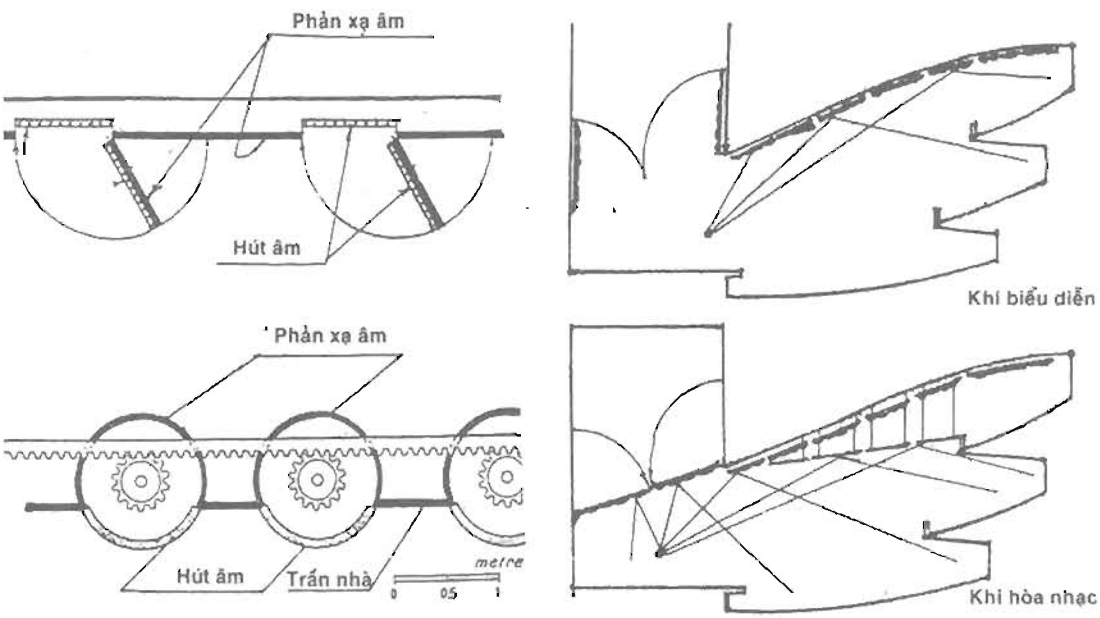
6. Bản mỏng dao động cộng hưởng đục thêm một số lỗ để tăng khả năng hút âm tần số cao

Tác dụng chủ yếu vẫn là bản mỏng dao động cộng hưởng hút âm nhưng để tăng khả năng hút âm tần số trung và cao, đục thêm một số lỗ, suất đục lỗ **P** < 15%.

Sau khi đục lỗ, do sự thay đổi vận tốc, do tác dụng dao động cộng hưởng của không khí nên xuất hiện khả năng hút âm tần số trung và cao. Thực tế quá trình hút âm của loại kết cấu này rất phức tạp, khó phân biệt được khi nào, tác dụng nào đóng vai trò chủ yếu.

7. Loại kết cấu hút âm khác (kết cấu hút âm di động)

Trong những phòng vạn năng, do nhiều mục đích sử dụng khác nhau như hòa nhạc, ca kịch, chiếu phim, nói chuyện, hội họp, v.v... Thời gian âm vang yêu cầu khác nhau cho từng mục đích sử dụng, tổng lượng hút âm yêu cầu khác nhau. Trong những phòng như vậy thường dùng kết cấu hút âm di động. Khi thiết kế, thường theo mục đích sử dụng nào yêu cầu thời gian âm vang dài nhất. Hình 2 - 24 giới thiệu một số loại kết cấu loại này.



Hình 2 - 24. Kết cấu hút âm di động thay đổi theo mục đích sử dụng

8. Lượng hút âm của người và ghế

a) Lượng hút âm của người

Trong tổng lượng hút âm của phòng, lượng hút âm của người chiếm một tỷ lệ rất lớn.

Về khả năng hút âm của người, số đơn vị hút âm ở các tài liệu chưa thống nhất, nguyên nhân có thể do điều kiện thực nghiệm không giống nhau, quần áo của khán giả khác nhau theo mùa, thời tiết, chất liệu quần áo khác nhau, số lượng khán giả trên đơn vị diện tích chỗ ngồi không giống nhau v.v...

Khả năng hút âm của người tương đối lớn đối lớn đối âm tần số trung và cao, vì vậy trong một số phòng khán giả người đông, thời gian âm vang tối ưu ở tần số cao khó đạt được, thường phải xử lý mặt tường, trần cứng nhẵn phản xạ âm, nhưng như vậy dễ dẫn tới hậu quả không tốt, thời gian âm vang của tần số thấp quá dài, có thể xuất hiện hiện tượng tiếng dội. Để chủ động trong thiết kế, đồng thời khắc phục hiện tượng thời gian âm vang phụ thuộc chủ yếu vào lượng hút âm trong phòng, nên chọn chỉ tiêu thể tích phòng (m^3/chỗ ngồi) hợp lý để thời gian âm vang phụ thuộc chủ yếu vào thể tích phòng, khi đó tổng lượng hút âm trong phòng chỉ có tác dụng điều chỉnh thời gian âm vang.

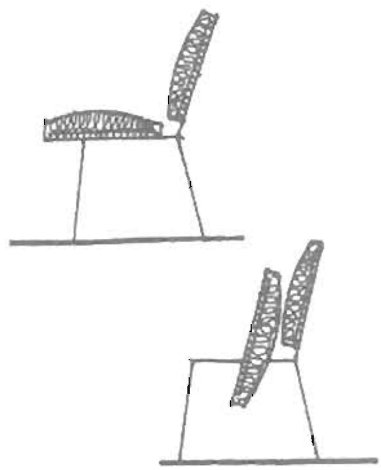
Đơn vị hút âm của người không tính bằng m^2 mà tính bằng mỗi người tương đương với bao nhiêu đơn vị hút âm. Số đơn vị hút âm này có thể tính trên $1m^2$ chỗ ngồi hoặc tính trên một khán giả cộng với ghế ngồi, do đó:

Lượng hút âm của khán giả trong phòng bằng số diện tích chỗ ngồi nhân với số đơn vị hút âm trên $1m^2$ chỗ ngồi, hoặc là:

Lượng hút âm của khán giả trong phòng bằng số lượng khán giả có mặt nhân với số đơn vị hút âm của mỗi người cộng với ghế ngồi.

b) Lượng hút âm của ghế

Khi khán giả đến không đủ, sẽ có ghế trống, tổng lượng hút âm trong phòng thay đổi, ảnh hưởng thời gian âm vang. Để khắc phục hiện tượng này, thiết kế ghế có số đơn vị hút âm xấp xỉ số đơn vị hút âm của người ngồi trên ghế. Ghế như vậy có thể thiết kế như (hình 2 – 25), khi không có người ngồi, mặt ghế lật lên, mặt bản đục lỗ tiếp xúc với sóng âm, mặt ghế bọc da mềm hoặc vải nhựa thô, mặt sau của ghế, lưng, tựa cấu tạo theo nguyên lý không khí dao động cộng hưởng hút âm, bên trong nhồi vật liệu xốp. Tần số cộng hưởng f_0 của loại ghế này khoảng 400 Hz. Có thể làm mặt ghế hai mùa: mặt mùa đông, mặt mùa hè.



Hình 2 - 25

9. Sự hút âm của miệng sân khấu

Sân khấu nhà hát và phòng hòa nhạc khác nhau, miệng sân khấu cũng khác nhau. Sân khấu nhà hát có thiết bị hoàn thiện hơn, phức tạp hơn, không gian sân khấu cao lớn, thể tích có thể lớn hơn phòng khán giả.

Khi biểu diễn, âm thanh phát ra trong sân khấu và truyền đi trong hai không gian: sân khấu và phòng khán giả. Nếu thời gian âm vang trong sân khấu rất dài (khi trong sân khấu ít phông màn) vượt quá thời gian âm vang của phòng khán giả, âm vang dư của sân khấu sẽ truyền ra phòng khán giả, làm giảm độ rõ, khi đó miệng sân khấu không thể coi là một bề mặt hút âm đối với phòng khán giả (nói là không hút âm hoàn toàn cũng không đúng). Do đó tốt nhất nên thiết kế thời gian âm vang của sân khấu và phòng khán giả bằng nhau.

Đa số sân khấu trong nhà hát có nhiều phông màn, cảnh trí, thảm trải v.v... có khả năng hút âm rất lớn, do đó thời gian âm vang ngắn hơn phòng khán giả, khi đó đối với phòng khán giả, miệng sân khấu là một bề mặt hút âm.

Miệng sân khấu hút âm nhiều hay ít, hay không phải là một bề mặt hút âm đối với phòng khán giả phải xét cụ thể khi thiết kế. Nói chung, lượng hút âm của miệng sân khấu thay đổi, phụ thuộc vào trang thiết bị trong sân khấu.

III. XỬ LÝ KIẾN TRÚC VẬT LIỆU HÚT ÂM

1. Lựa chọn và bố trí vật liệu hút âm

Việc lựa chọn và phương thức bố trí vật liệu hút âm ảnh hưởng rất lớn đến tính năng hút âm của vật liệu. Cùng một loại vật liệu nhưng dán sát tường hoặc đặt cách tường một lớp không khí, khả năng hút âm khác nhau rất nhiều, vật liệu có cấu trúc khác nhau, xử lý khác nhau như đã phân tích trên đây.

Khi bố trí vật liệu hút âm, chú ý tới tính chất vật lý của vật liệu. Tính năng co dãn trong môi trường làm việc của vật liệu. Đại bộ phận vật liệu hút âm đều có tính dẫn nhiệt kém, đề phòng hiện tượng ngưng tụ nước trong vật liệu.

Căn cứ vào yêu cầu của công trình, đặc điểm chất lượng âm trong phòng, yêu cầu trang trí nội thất v.v... chú ý cường độ chịu lực của vật liệu, tính hút nước, khả năng bị xâm thực, mức độ chịu lửa, tính năng cách âm, hệ số phản xạ ánh sáng v.v... là những vấn đề kiến trúc sư quan tâm.

Hệ số phản xạ ánh sáng phụ thuộc vào tính chất và màu sắc bề mặt, phản ánh khả năng trang trí của vật liệu. Quá trình thi công, sửa chữa cần những loại thợ nào thực hiện v.v ... đắt hay rẻ.

Nói chung vật liệu xốp, khả năng phản xạ ánh sáng kém, thường phải quét sơn để tăng khả năng chống ẩm, cọ rửa dễ dàng. Khi quét sơn chú ý không làm mất lỗ rỗng của vật liệu.

2. Nguyên tắc bố trí vật liệu và kết cấu hút âm

Khi bố trí vật liệu và kết cấu hút âm nên theo những nguyên tắc sau đây:

- Bố trí vật liệu và kết cấu hút âm trên những bề mặt tiếp xúc với trường năng lượng âm, nhận được nhiều âm phản xạ. Thông thường, số lần phản xạ giữa trần và nền nhiều gấp đôi so với tường bên, do đó một số phòng chiếu phim đặt vật liệu hút âm trên toàn bộ trần.

Trong nhà hát, phòng hòa nhạc, sử dụng trần để phản xạ âm, vật liệu hút âm nên bố trí ở những bề mặt khác dễ tiếp xúc với sóng âm để tận dụng khả năng hút âm của vật liệu.

- Chú ý tận dụng tường và trần gần miệng sân khấu phản xạ âm, bố trí vật liệu có hệ số hút âm bé để đưa âm phản xạ đầu tiên ra phía sau, tăng cường cho âm trực tiếp.

Để tránh âm phản xạ vô ích từ tường sau tới và ở phần trên của tường bên, nên bố trí vật liệu có khả năng hút âm cao (α = 0,7). Phần trên của tường bên (kể từ độ cao cách mặt nền 2,1m trở lên) và những bộ phận trần quá cao, tường bên quá rộng, có khả năng sinh tiếng dội, thường khắc phục bằng cách bố trí vật liệu hút âm cao.

- Phân bố vật liệu hút âm phân tán đồng đều trên các bề mặt trong phòng, không nên bố trí tập trung ở bộ phận cục bộ nào. Bố trí vật liệu hút âm đồng đều với ý nghĩa để cho năng lượng âm của các tần số tắt dần trên các hướng trong phòng xấp xỉ bằng nhau.

Công trình hoàn thành là kết quả tổng hợp của nhiều mặt: sử dụng tốt, chất lượng âm tốt, kinh tế, mỹ quan. Do đó kiến trúc sư thường có quan điểm toàn diện khi lựa chọn và bố trí vật liệu trang âm, không những hiểu tường tận, sử dụng thành thạo vật liệu và kết cấu hút âm mà còn làm đẹp vật liệu khi thiết kế nội ốc.

Tóm lại, kiến trúc sư không những chỉ biết sử dụng vật liệu mà còn biết sáng tạo vật liệu trang âm cho một nội thất đẹp trong sáng tác của mình.

Chương 3

THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM NHÀ HÁT NGOÀI TRỜI (TRUYỀN ÂM NGOÀI TRỜI)

I. ĐẶC ĐIỂM ÂM THANH CỦA NHÀ HÁT NGOÀI TRỜI

Đặc điểm âm thanh cơ bản của nhà hát ngoài trời là sự lan truyền âm trong không gian tự do, chịu ảnh hưởng của các điều kiện tự nhiên: Sự biến thiên nhiệt độ, gió, sự hút âm của không khí, sương mù, v.v ....và không có các bề mặt giới hạn phản xạ âm.

1. Truyền âm trong không gian tự do

Nguồn âm điểm phát sóng cầu, cường độ âm tắt dần tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách r đến nguồn âm. Nếu nguồn âm công suất **W**, tại điểm cách nguồn r mét (hình 3-1), cường độ âm (**I**), bằng:

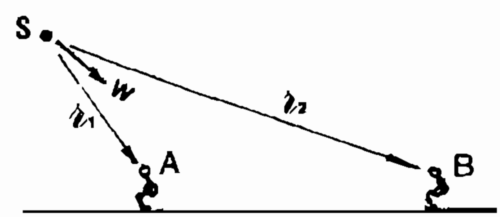
$$I = W/4.\pi.r^2 \ ; \quad I_A = W/4.\pi.r_1^2 \ , \quad I_B = W/4.\pi.r_2^2 \ ; \quad W/m^2 \text{ (hoặc } W/cm^2\text{)}$$

Mức cường độ âm tại **A** và **B** chênh lệch **ΔL** (dB):

$$\Delta L = L_{I.A} - L_{I.B} = 10.lg.\frac{I_A}{I_0} - 10.lg.\frac{I_B}{I_0} \qquad \text{(dB)}$$

$$\Delta L = 10.lg.\frac{I_A}{I_B} = 20.lg.\frac{r_2}{r_1} \qquad \text{(dB)}$$

Khoảng cách tới nguồn tăng lên gấp đôi, mức cường độ âm giảm 6 dB, tăng lên gấp 10 mức cường độ âm giảm 20dB.



$I = W/4\pi r^2$

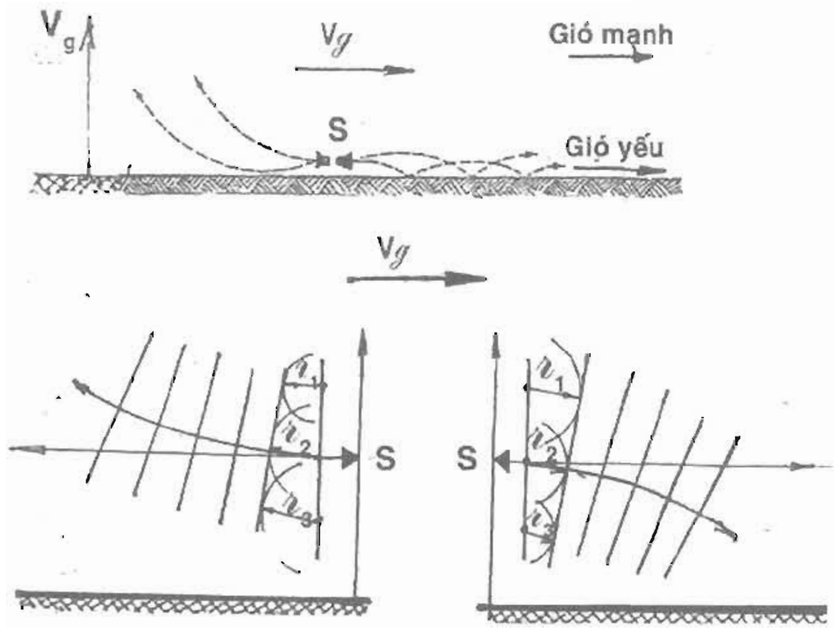
Hình 3 - 1

2. Truyền âm trong môi trường có gió

Vận tốc gió tăng theo chiều cao cách mặt đất. Phương truyền âm xuôi theo chiều gió, vận tốc truyền âm bằng tổng của hai vận tốc. Khi truyền âm ngược chiều gió, vận tốc truyền âm bằng hiệu hai vận tốc (hình 3 – 2).

Kết quả, khi truyền âm xuôi chiều gió, mặt sóng úp dần xuống, tia sóng có xu hướng áp sát mặt đất. Ngược lại, khi truyền âm ngược chiều gió, mặt sóng ngửa dần, phương truyền sóng rời xa mặt đất.

Như vậy, khi định vị sân khấu ngoài trời thuận chiều gió chủ đạo từ sân khấu đến khán giả, khi đó khoảng cách truyền âm lớn hơn trường hợp ngược lại.



Hình 3 - 2. Khúc xạ sóng khi truyền âm trong môi trường có gió (λ = C.t)

3. Truyền âm trong trường nhiệt độ biến thiên

Khi sóng âm lan truyền trong không khí, mật độ không khí thay đổi 0,001% (bình thường, mật độ không khí khoảng 0,0012 g/cm^3) và nhiệt độ thay đổi 0,0008^{0}C. Vận tốc truyền âm trong khí quyển:

$$C = \sqrt{1,4\frac{B}{\rho}} \quad (m/s)$$

Trong đó: **B** - áp suất khí quyển;

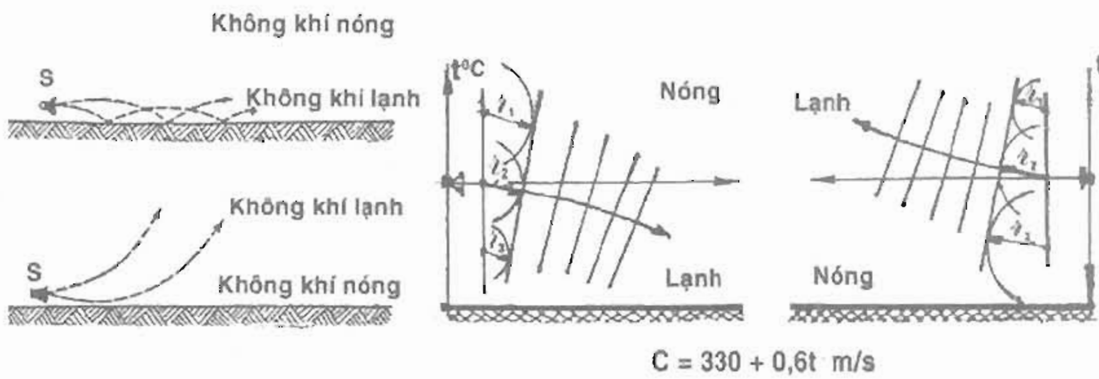
ρ - mật độ không khí.

Thông thường, sử dụng công thức, (đã trình bày ở chương 1):

$$C = 330 + 0,6t \quad (m/s)$$

nhiệt độ **t** thay đổi 1^{0}C vận tốc truyền âm thay đổi 0,6 m/s.

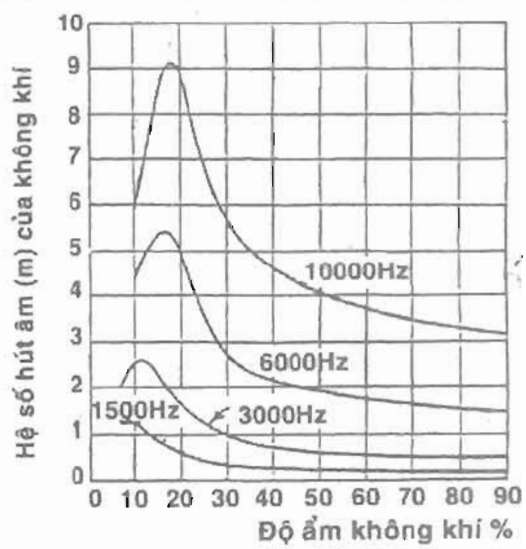
Trong điều kiện có bức xạ mặt trời, nhiệt độ không khí giảm theo chiều cao cách mặt đất. Ban đêm, ngược lại, nhiệt độ tăng theo chiều cao cách mặt đất, do tính chất hấp thu và tản nhiệt của mặt đất. Đặc điểm này dẫn tới hiện tượng khúc xạ sóng (hình 3 - 3).



Hình 3 - 3. Khúc xạ sóng khi truyền âm trong trường nhiệt độ biến thiên

4. Sự hút âm của không khí

Truyền âm trong khí quyển, năng lượng âm bị hấp thu do tính nhớt (độ ẩm) tính dẫn nhiệt của không khí, do bức xạ và khuếch tán năng lượng sóng. Năng lượng âm tắt dần do bức xạ và khuếch tán trên đường lan truyền tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách đến nguồn. Khoảng cách đến nguồn tăng lên gấp đôi, mức cường độ âm giảm 6 dB. Đây là lượng tổn thất chủ yếu, còn lượng tổn thất do nhiệt độ, độ ẩm, khúc xạ và hấp thu của các bề mặt trên đường lan truyền không đáng kể và phụ thuộc vào tần số (hình 3 - 4).



Hình 3 - 4. Sự hút âm của không khí

Trong khí quyển, hiện tượng dao động không khí liên quan tới sự hấp thu và khuếch tán năng lượng âm. Tiếng máy bay từ xa tới, nghe rõ sự thăng dáng (ú ù) rất lớn, đó là kết quả của sự hấp thu và khuếch tán năng lượng âm trong không khí.

Khi nghiên cứu tiểu khí hậu trong khí quyển, thấy rõ hiện tượng chảy rối rất lớn, đặc biệt là những vùng đất hấp thu nhiều năng lượng bức xạ mặt trời. Ở đó nhiệt độ thay đổi $\geq 0{,}55^{0}$C/giây, gió cũng thường xuyên biến đổi do các tác

dụng của các đối lưu, kết quả làm cho không khí luôn trong trạng thái kích động, sóng âm tần số thấp bị ảnh hưởng không nhiều, nhưng sóng âm tần số cao chịu ảnh hưởng rất lớn, thăng giáng mạnh.

Khi chọn địa điểm xây dựng nhà hát ngoài trời, phải tìm giải pháp xử lý để khắc phục những hiện tượng sau:

- Hiện tượng âm bị méo do âm vang, tiếng dội, tiêu điểm âm ...
- Sự xâm nhập của các nguồn ồn bên ngoài, đảm bảo mức ồn trong khu vực khán giả < 40dB.
- Tránh hướng gió thổi từ khán giả đến sân khấu, bảo đảm tốc độ gió trên khu vực khán giả ≤ 4 m/s.
- Trong hoặc lân cận khu vực nhà hát không có vùng đất bị bức xạ mặt trời nung nóng quá mạnh gây hiện tượng âm thăng giáng.

5. Lan truyền sóng âm qua các bề mặt hút âm

Nếu khán giả ngồi trên mặt nền phẳng khi nguồn âm ở độ cao 60 – 90cm, những thính giả ngồi cách nguồn âm 15m sẽ nhận được mức âm bé hơn nhiều so với trường hợp thính giả ngồi trên mặt nền cao 90 – 120cm. Nguyên nhân do thính giả hút âm rất nhiều.

Do đó muốn giảm bớt tổn thất năng lượng âm, không những nâng cao vị trí nguồn âm còn phải nâng cao hợp lý độ dốc bậc ngồi.

II. ĐỘ RÕ CỦA TIẾNG NÓI NGOÀI TRỜI

Độ rõ chỉ mức độ nghe rõ và hiểu được trong những điều kiện nhất định, là cơ sở để xác định quy mô của nhà hát ngoài trời.

Đánh giá định lượng độ rõ của tiếng nói bằng số phần trăm âm tiết nghe rõ và hiểu được trong tổng số âm tiết không có liên quan về ý nghĩa và tập tính, do một người xướng đọc gọi là độ rõ âm tiết (**A**).

Thí dụ: Một người xướng đọc 1000 âm tiết không có liên quan về ý nghĩa và tập tính, thính giả quan trắc nghe chính xác 850 âm tiết, độ rõ âm tiết **A** = 85%. Kết quả thực nghiệm độ rõ âm tiết **A** đối với ngôn ngữ đa âm (tiếng Anh và tiếng Nga) ghi trong hình 3 - 5.

Trong điều kiện ngoài trời:

- Nếu độ rõ âm tiết **A** = 85% - điều kiện nghe tốt
- Nếu độ rõ âm tiết **A** = 75% - điều kiện nghe thỏa mãn
- Nếu độ rõ âm tiết **A** = 65% - điều kiện nghe khó khăn.

Thực nghiệm trên mặt đất phẳng, giá trị **A** (%) phụ thuộc vào khoảng cách đến nguồn âm. Tổ chức thực nghiệm như sau: bố trí một số thính giả ngồi ở phía trước, bên trái, bên phải và phía sau nguồn âm trên những khoảng cách khác nhau, nguồn âm phát tín hiệu như diễn thuyết trước quần chúng. Kết quả đo đạc trong điều kiện lặng gió và khi vận tốc gió 10 m/s thể hiện như hình 3 - 5 hướng chính của nguồn âm thể hiện bằng mũi tên nhỏ. Đường cong đẳng độ rõ đối xứng qua trục bức xạ của nguồn âm.

Đường cong độ rõ 75% trong điều kiện lặng gió tương ứng với khoảng cách: phía trước nguồn âm 42m, hai phía trái phải khoảng 30m, phía sau 17m.

Khi vận tốc gió 10 m/s, đường cong độ rõ trên khoảng cách tương ứng bằng 26 : 16 : 8.

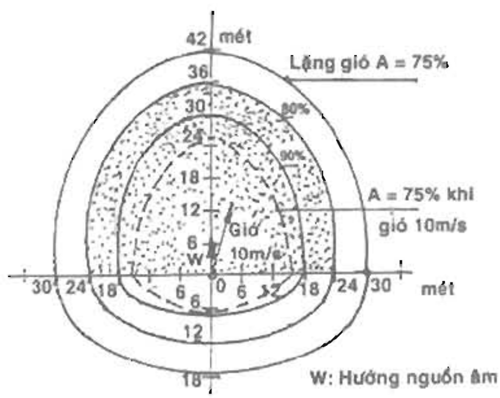
Khi có gió sẽ gây ra ở tai tiếng ồn làm nhiễu loạn sự cảm thụ âm, giảm độ rõ trên tất cả các hướng.

Thực nghiệm này cũng tiến hành với vận tốc gió 4 – 5m/s.

Kết quả thực nghiệm cho thấy nhà hát ngoài trời nên xây dựng ở nơi lặng (kín) gió, nếu không có địa điểm như vậy lấy hướng gió thường xuyên hàng năm thổi từ sân khấu tới khán giả làm hướng của nhà hát, duy trì vận tốc gió ≤ 4 m/s. Nếu vận tốc gió thường xuyên hàng năm vượt quá giới hạn này và không tiện bố trí thiết bị tăng âm phải thu hẹp nhà hát cho phù hợp.

III. THIẾT KẾ NHÀ HÁT NGOÀI TRỜI

Nhà hát ngoài trời, thực tế là công trình đa năng, để biểu diễn ca nhạc, ca vũ kịch, đại hội quần chúng v.v... Sức chứa lớn có thể từ ≥ 600 ÷ 5000 người. Nếu để biểu diễn kịch nói, khoảng cách nhìn yêu cầu không quá 30m, vì thế sức chứa thường khoảng từ 1500 ÷ 2000 người. Nếu bảo vệ nhà hát khỏi ảnh hưởng của tiếng ồn bên ngoài, chắn được gió, đồng thời áp dụng mặt phản xạ âm, khoảng cách trên có thể tăng lên.



Hình 3 - 5. Mặt bằng nhà hát ngoài trời đặt trong đường cong A = 80%

Thiết kế nhà hát ngoài trời gồm các bước sau:

- Lựa chọn địa điểm phù hợp với những điều kiện nghe âm ngoài trời.
- Lựa chọn mặt bằng và độ dốc bậc ngồi.
- Thiết kế hộp sân khấu.

- Thiết kế mặt phản xạ âm sân khấu.

- Thiết kế hệ thống điện thanh. Thường tăng âm cho những thính giả ngoài phạm vi quy định (600 khán giả) đến phía sau. Có thể sử dụng hệ thống điện thanh lập thể theo công năng biểu diễn là chính.

1. Lựa chọn địa điểm, tổ chức mặt bằng bậc ngồi

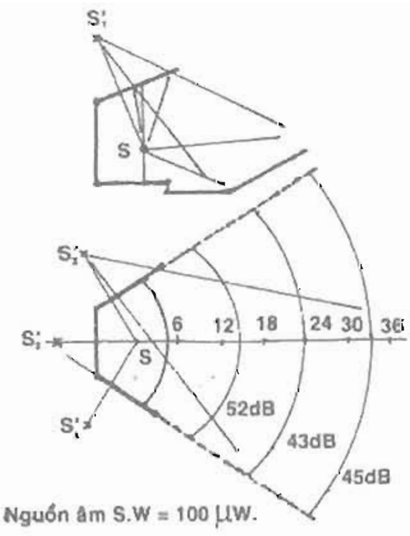
Địa điểm xây dựng nhà hát ngoài trời theo những phân tích trên đây có thể tóm tắt như sau:

- Địa điểm phù hợp với đặc điểm truyền âm ngoài trời, tiểu khí hậu, địa hình, mức độ ô nhiễm tiếng ồn, v.v... trong đó mức độ ô nhiễm tiếng ồn nổi trội hơn cả.

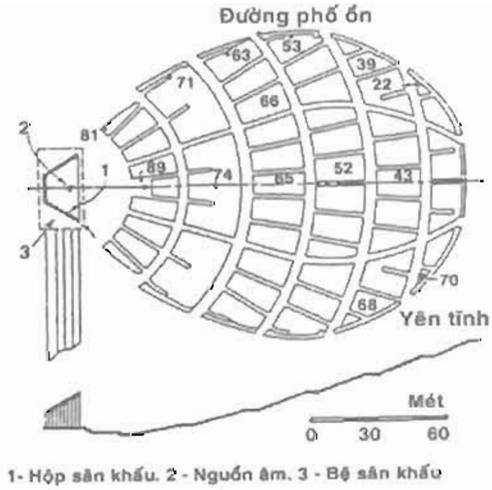
- Có thể lợi dụng sườn dốc tự nhiên để tạo bậc ngồi, chung quanh mặt bằng nhà hát trồng cây xanh để cách ly bên ngoài và chắn gió v.v...

- Xác định mức ồn trên toàn bộ khu vực xây dựng, xác định mức ồn lớn nhất và bé nhất, mức ồn trung bình, tần số và thời gian xuất hiện, đảm bảo tiếng ồn trong nhà hát $\leq$ 40dB. Không cho phép mức ồn quá lớn và ngẫu nhiên xâm nhập vào khu vực nhà hát. Nếu mức ồn ngẫu nhiên $\geq$ 60dB xuất hiện hai ba lần trong một giờ, mặt bằng đó không đạt yêu cầu, khi các giải pháp khả thi đã sử dụng.

Để mọi chỗ ngồi đều nhận đủ âm trực tiếp, độ dốc bậc ngồi $\geq 12^0$. Độ nghiêng của tường và mái phản xạ âm xác định theo nguyên lý âm hình học, đảm bảo phân bố đều năng lượng âm trên toàn vùng chỗ ngồi.



Hình 3 - 6. Mức áp suất phân bố trên khu vực



1- Hộp sân khấu. 2 - Nguồn âm. 3 - Bệ sân khấu

Nguồn âm: Loa phóng thanh đặt trong hộp sân khấu

Độ rõ âm tiết A trên khu vực ngồi ghi trong mặt bằng

Hình 3 - 7. Nhà hát ngoài trời Holly Wood Bowl

Mỗi thính giả nhận được cường độ âm tổng hợp trực tiếp từ nguồn và các nguồn ảo của mái, của tường bên, tường hậu đồng đều nhau. Hình 3 - 6 ghi nhận sự phân bố mức áp suất âm trên khu vực ngồi của khán giả. Nguồn âm **S**, mức âm trung bình, thời gian dài, công suất âm 100 μW.

Nhà hát ngoài trời dùng để biểu diễn kịch nói, không có thiết bị tăng âm, muốn cho khán giả nghe được thoải mái, diễn viên không nhọc sức, sức chứa chỉ nên trong khoảng 600 người, tương ứng với cự ly 24m, chiều rộng tối đa của mặt bằng nên 27m. Nếu sức chứa lớn hơn, số khán giả ngoài 600 chỗ ngồi nghe không rõ (nếu diễn viên không nói lớn hơn).

Nhà hát ngoài trời biểu diễn ca nhạc, sức chứa có thể lớn hơn, vì công suất âm của nhạc cụ lớn hơn công suất âm của diễn viên.

Có thể dùng gạch atphan mỏng lát lối đi hoặc sử dụng vật liệu mềm nào đó để giảm nhỏ tiếng ồn đi lại.

2. Thiết kế hộp sân khấu phản xạ âm

Mục đích:

- Đưa âm phản xạ bổ sung cho âm trực tiếp ở những chỗ ngồi xa, đảm bảo trường âm phân bố đều trên toàn vùng chỗ ngồi.

- Để nhạc công, diễn viên nghe âm của nhau, phối hợp hòa âm.

- Tổ chức chiếu sáng sân khấu, định vị hệ thống điện thanh v.v...

Mặt phản xạ sân khấu đơn giản nhất, chỉ dựng một mặt tường cao phía sau sân khấu. Nhờ mặt phản xạ này có thể tăng gấp đôi cường độ âm cho thính giả. Mặt phản xạ này có nhiều ưu điểm: không tạo nên tính định hướng hẹp, âm phản xạ ra phía trước phân bố đều, không sinh ra tiếng dội liên tục, không có hiện tượng hội tụ âm.

Nếu thiết kế hai tường bên để tăng cường âm phản xạ tới khán giả, không nên thiết kế song song nhau, để tránh hiện tượng phản xạ qua lại nhiều lần giữa hai mặt tường này, tạo nên tiếng dội liên tục trên sân khấu, nên xử lý thành những mặt cong lồi để tăng khả năng khuếch tán âm.

3. Yêu cầu đối với mặt phản xạ sân khấu

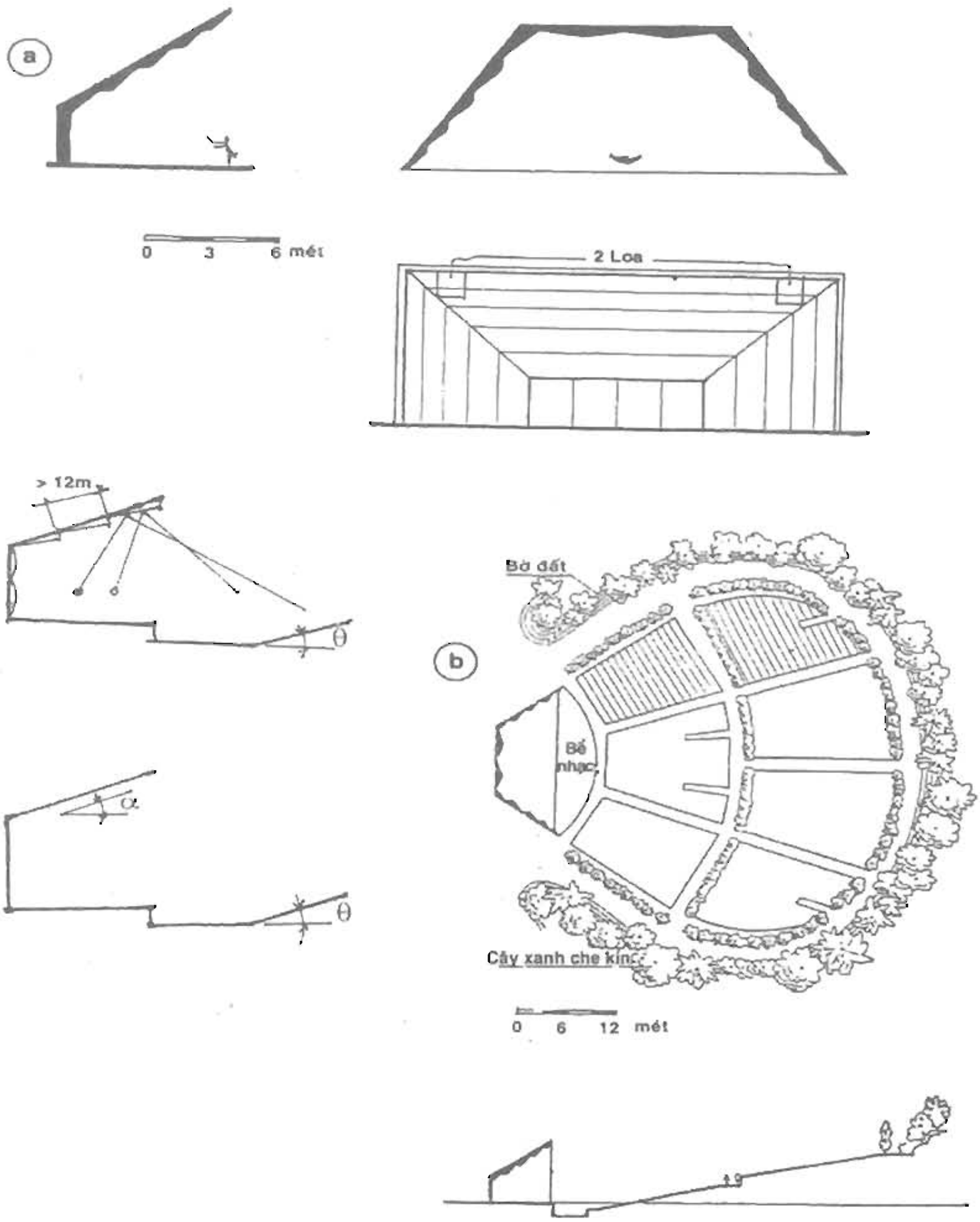
• ***Về kích thước***

- Lớn hơn chiều dài bước sóng của sóng âm phản xạ.

- Phù hợp với diện tích cung cấp âm phản xạ.

- ***Về vật liệu và cấu tạo***

- Có khả năng phản xạ cao đối với mọi tần số và mọi góc tới.
- Đủ độ cứng trên mặt cắt.
- Tần số dao động riêng thấp.
- Toàn bộ kết cấu chắc chắn, ổn định không bị gió và nguồn âm kích động.



Hình 3 - 8. Nhà hát ngoài trời

a) Giải pháp thiết kế hộp sân khấu; b) Nhà hát ngoài trời chất lượng âm tốt

Tần số dao động riêng của kết cấu phụ thuộc vào khối lượng, phương thức liên kết và độ cứng của cấu kiện.

Góc nghiêng α của trần phản xạ có xu hướng song song với độ dốc bậc ngồi, đảm bảo âm phản xạ từ trần tới thính giả (hình 3 - 8).

$$\alpha = 45^0 + \frac{\theta}{2}$$

Khi độ dốc bậc ngồi cao, sân khấu lớn, những mặt phản xạ sân khấu có thể cách xa một số diễn viên nào đó sẽ xuất hiện một số phản xạ đến chậm. Có thể khắc phục bằng cách tạo những mặt gãy trên mặt phản xạ cơ bản với góc nghiêng $\alpha = 45^0 + \frac{\theta}{2}$, chiều rộng không nhỏ hơn 1,2m. Những mặt phản xạ gảy nên cấu tạo khác nhau, không quy tắc, để tránh hiện tượng phản xạ lựa chọn, tránh dùng những mặt phản xạ cong, khó thi công, tốn kém, chất lượng âm cũng không thỏa mãn.

Chương 4

THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM TRONG PHÒNG

I. HIỆN TƯỢNG CỘNG HƯỞNG CỦA PHÒNG

1. Khái niệm

Do các bề mặt giới hạn cho nên trường âm trong phòng là trường âm giao thoa của các nguồn kết hợp: nguồn tự nhiên, nguồn phóng đại và các nguồn phản xạ từ các bề mặt giới hạn của phòng.

Mọi vị trí trong phòng đồng thời nhận được hai năng lượng âm:

- Năng lượng âm tới trực tiếp từ nguồn tự nhiên, nguồn phóng đại.
- Năng lượng âm phản xạ tới từ các bề mặt giới hạn của phòng.

Đặt một nguồn âm ở ngoài trời quang đãng, khi nguồn phát âm, tại một điểm nào đó gần nguồn, sẽ nhận được một áp suất âm như nhau với mọi tần số. Cũng nguồn âm này nếu đặt trong phòng và cũng với những khoảng cách như trên, sẽ nhận được những áp suất âm khác với những tần số khác nhau.

Trong phòng, khi nguồn âm tác dụng sẽ kích động các phần tử không khí trong thể tích phòng dao động, tần số của những dao động này gọi là tần số dao động riêng của phòng. Nếu tần số một sóng âm nào đó của nguồn xấp xỉ bằng tần số dao động riêng của phòng, áp suất âm của tần số đó tăng lên gấp bội. Hiện tượng như vậy gọi là hiện tượng cộng hưởng của phòng.

Tần số dao động riêng của phòng gọi là tần số cộng hưởng của phòng.

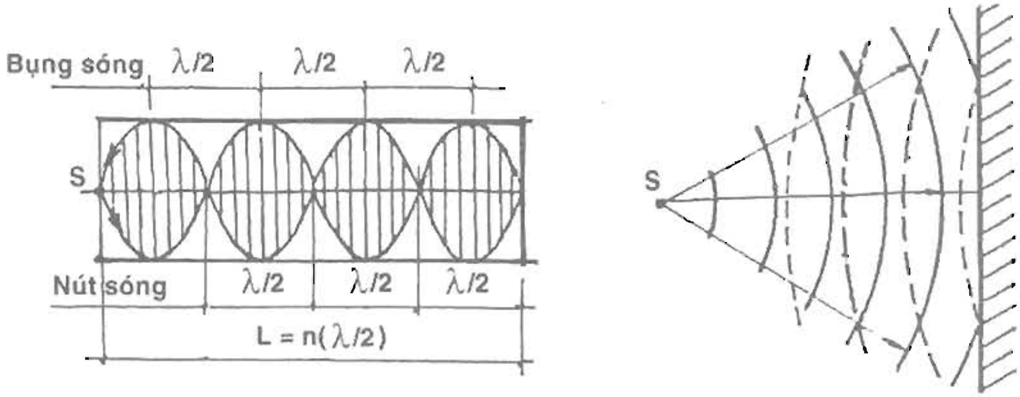
2. Tần số cộng hưởng của phòng

Tần số dao động riêng của phòng khó xác định bằng tính toán, nhưng đối với phòng hình hộp, các bề mặt giới hạn cứng, nhẵn, có thể xác định được không khó lắm (xem phần sóng đứng).

Trước tiên hãy quan sát sóng âm truyền trong một ống hai đầu bịt kín (hình 4 - 1).

Tương tự hiện tượng sóng đứng đã xét trên đây, nếu sóng âm xuất phát từ một đầu ống, còn đầu đối diện bịt kín bằng một bức tường cứng nhẵn. Khi chiều dài L của ống bằng 1/2 chiều dài bước sóng λ của sóng âm thì hai đầu ống sẽ là hai nút sóng, tại đây các phần tử không khí đứng yên không dao động, các phần tử không khí ở giữa hai nút dao động tăng lên

gấp bội. Do sự giao thao của sóng chạy tới trước và sóng phản xạ làm xuất hiện hiện tượng sóng đứng.



Hình 4 - 1

Nếu chiều dài **L** của ống bằng một số nguyên **n** (λ/2), cũng xảy ra hiện tượng tương tự, tức là:

$$L = n.\frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2L}{n} = \frac{C}{f}$$

Trong đó: **n** = 0, 1, 2, 3 ...

$f = \frac{C}{2}\left(\frac{n}{L}\right)$ - tần số dao động riêng trên phương **L** của ống;

C - vận tốc truyền sóng âm (m/s);

λ - chiều dài bước sóng của tần số dao động riêng (f).

Ứng với giá trị **n** khác nhau, sẽ cho một tần số dao động riêng khác nhau.

Như vậy trong ống có vô số tần số dao động riêng.

Trong phòng hình hộp không gian ba chiều: chiều dài **L**, chiều rộng **B** và chiều cao **H**, giữa mỗi cặp song song đều xuất hiện sóng đứng:

$$f_1 = \frac{C}{2}\left(\frac{n_1}{L}\right); \quad f_2 = \frac{C}{2}\left(\frac{n_2}{B}\right); \quad f_3 = \frac{C}{2}\left(\frac{n_3}{H}\right)$$

Trong đó: n_1, n_2, n_3 – những số nguyên dương tuỳ ý. Ngoài những tần số dao động riêng trên đây, còn có những tần số dao động riêng khác hình thành trên những phương truyền sóng khác giữa các bề mặt giới hạn của phòng.

Tần số dao động riêng tổng hợp của phòng hình hộp xác định bằng công thức:

$$f = \frac{C}{2}\sqrt{\left(\frac{n_1}{L}\right)^2 + \left(\frac{n_2}{B}\right)^2 + \left(\frac{n_3}{H}\right)^2}\ . \text{ (Hz)}$$

Ứng với mỗi nhóm (n_1, n_2, n_3) cho một tần số dao động riêng tương ứng của phòng.

Dễ dàng thấy rằng, chiều dài bước sóng của tần số dao động riêng thấp nhất bằng hai lần kích thước dài nhất L của phòng.

Thực vậy, khi $n_2 = n_3 = 0$ và $n_1 = 1$: $f_1 = \frac{C}{2}\left(\frac{n_1}{L}\right)$ và $\lambda_1 = \frac{2L}{n}$

Như vậy, trong phòng hình hộp có 3 nhóm sóng đứng cơ bản:

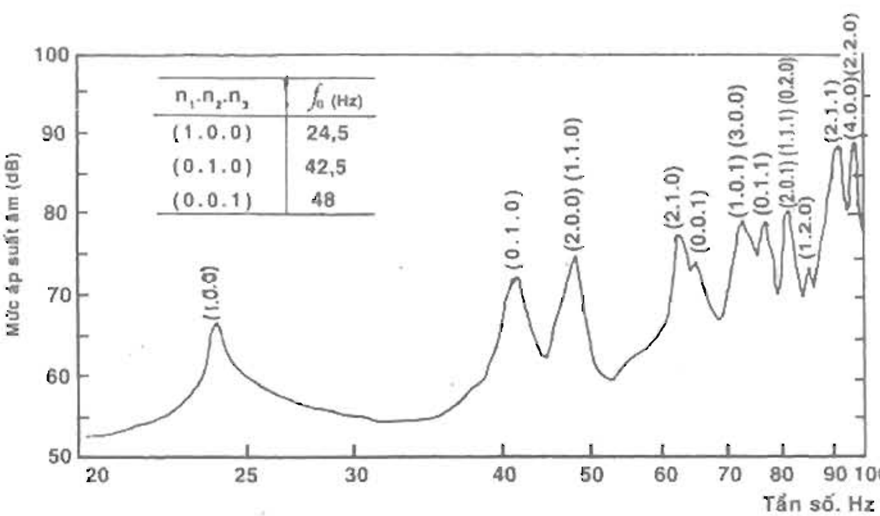
- Nhóm một: n_1 là một số nguyên dương, $n_2 = n_3 = 0$
- Nhóm hai: n_2 là một số nguyên dương, $n_1 = n_3 = 0$
- Nhóm ba: n_3 là một số nguyên dương, $n_1 = n_2 = 0$

Sóng của nhóm một là sóng phẳng truyền theo phương song song với trục dọc của phòng, những sóng này đều là sóng đứng giữa tường trước với tường sau.

Sóng của nhóm hai là sóng đứng giữa hai tường hai bên.

Sóng của nhóm thứ ba là sóng đứng giữa trần và nền nhà.

Ngoài ba nhóm sóng đứng này còn có những sóng đứng tạo thành do sự phản xạ qua lại giữa những bề mặt song song tương ứng với hai và trên hai nhóm (n_1, n_2, n_3).



Hình 4 - 2. Mức áp suất âm (dB) với tần số dao động riêng (f) của phòng Nguồn âm là một chiếc loa đặt ở một góc phòng. Ngọn của đồ thị ở tần số dao động riêng cộng hưởng, tương ứng với nhóm sóng đứng (n_1, n_2, n_3)

Kết quả thực nghiệm trong phòng hình hộp chữ nhật dài **L**, rộng **B** và cao **H** có kích thước tương ứng: 7,25 x 4 x 2,5 m^3, tường trần tô hồ cứng, nền bê tông, tần số dao động riêng thấp nhất, tính theo công thức bằng 24,5 Hz, sau đó tăng dần lên 42,5; 48; 49 Hz. Xem bảng và hình 4 - 2.

Kết quả tính toán rất phù hợp với thực nghiệm, tần số càng cao, ngọn của đồ thị càng xích gần nhau. Cuối cùng các ngọn sóng đứng xuất hiện dày đặc, liên tục, hình thành trường dao động riêng cộng hưởng phân bố đều trong phòng.

3. Số lượng, sự phân bố tần số dao động riêng của phòng

Nếu phòng thể tích **V** (cm^3), số lượng tần số dao động riêng **N** của phòng kể từ tần số thấp nhất đến tần số f_C nào đó, xác định bằng biểu thức:

$$N = \frac{4V}{3}\left(\frac{f_c}{C}\right)^3 \pi + \frac{\pi f_c^2}{4C^2} A + \frac{4 f_c (L + B + H)}{8C}$$

Trong đó: **A = 2 (L.B + L.H + H.B)** – diện tích các bề mặt trong phòng (m^2)

Có thể tính gần đúng:

$$N \approx 4V\left(\frac{f_c}{C}\right)^3$$

Trong đó tần số f_C thỏa mãn điều kiện:

$$f_c = \frac{4C}{V^{1/3}}, \ \text{Hz}$$

Thí dụ: phòng hình hộp **V** = 21 x 12 x 8 = 2016m^3, với tần số f_C = 1000Hz số lượng tần số dao động riêng kể từ tần số thấp nhất của phòng đến tần số f_C = 1000Hz:

$$N = 4V\left(\frac{f_c}{C}\right)^3 = 4.2016.\left(\frac{1000}{340}\right)^3 = 205.145 \quad \text{(tần số)}$$

Phòng **V** = 3000m^3, f_C = 110 Hz, **N** = 440 tần số.

Khi f_C = 1100Hz, **N** = 440.000 tần số → f_C càng cao, số lượng tần số tăng càng nhanh. Như vậy f_C tăng 10^1 lần, **N** tăng 10^3 lần.

Đối với những phòng không phải hình hộp số lượng tần số dao động riêng sẽ khó xác định, nhưng nếu thể tích **V** không đổi số lượng tần số dao động riêng **N** vẫn không đổi.

Nếu lực kích động có tần số nào đó tác dụng lên hệ dao động, hệ sẽ dao động theo tần số của lực kích động, nếu thôi tác dụng, dao động của hệ lập tức biến đổi từ tần số của lực kích động sang tần số dao động riêng của hệ. Một hệ dao động đơn giản hoặc phức tạp, như không khí trong phòng kín đều có tính chất đó. Trong điều kiện ổn định, dao động của không khí trong phòng dao động theo tần số của nguồn âm, khi nguồn âm ngừng tác dụng, xuất hiện âm vang, dao động của không khí trong phòng sẽ lập tức dao động theo tần số dao động riêng của phòng.

Theo lý thuyết, trường âm trong phòng trong quá trình âm vang, do những dao động còn dư của toàn bộ dao động riêng của phòng hình thành, nhưng thực tế chỉ có những tần số dao động riêng nào của phòng xấp xỉ tần số của nguồn âm mới bị kích động dậy. Nếu tần số của nguồn âm rất thấp, số lượng tần số dao động riêng (N) của phòng bị kích động rất ít. Tần số kích động f_C càng cao số lượng tần số dao động riêng của phòng bị kích động càng nhiều và tăng rất nhanh. Điều đó chứng tỏ rằng tính chất khuếch tán của trường âm đối với tần số cao tốt hơn nhiều so với tần số thấp trong quá trình âm vang.

Nếu tần số dao động riêng của phòng phân bố không đều, trong phạm vi nào đó, số tần số dao động riêng của phòng tương đối nhiều so với những phạm vi khác, trường âm trong phòng sẽ không đều, âm nghe mất thật.

Âm nhạc và lời nói đều là những âm phức tạp bao gồm rất nhiều tần số khác nhau, muốn đảm bảo tính chất thật của âm thanh, thành phần tần số dao động riêng của phòng phải xấp xỉ bằng tần số của nguồn âm, khi đó mọi tần số của nguồn âm mới được dao động riêng của phòng hưởng ứng.

Cho nên sự phân bố tần số dao động riêng của phòng là cơ sở quan trọng để xác định hình dáng phòng.

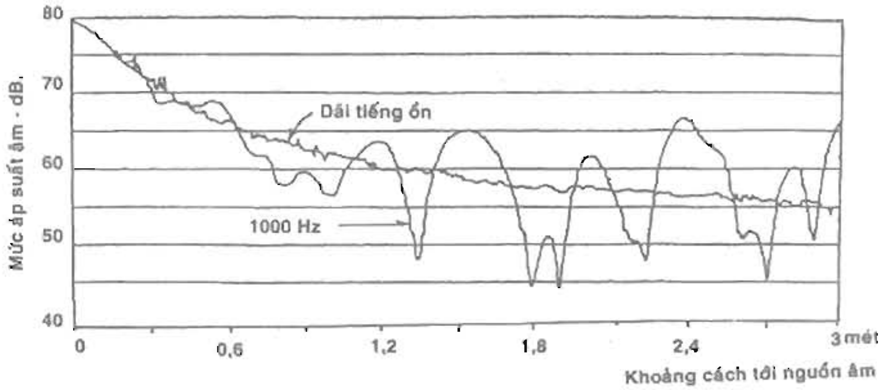
4. Phân bố mức áp suất âm trong phòng

Các bề mặt giới hạn không gian kiến trúc làm thay đổi sự phân bố năng lượng âm của nguồn, khác với truyền âm trong không gian tự do, tại vị trí cùng khoảng cách với ngoài trời, mức áp suất âm trong phòng cao hơn, năng lượng âm tắt dần chậm hơn. Hình 4 - 3 mô tả tốc độ tắt dần của mức áp suất âm trong phòng phụ thuộc vào khoảng cách tới nguồn âm.

Đường cong tắt dần của hai thực nghiệm cho kết quả (hình 4 - 3):

- Thứ nhất, với nguồn âm đơn, tần số 1000 Hz, bao gồm âm trực tiếp đến từ nguồn và sự can thiệp của âm phản xạ đến từ các bề mặt giới hạn của phòng, hình thành nhiễu vực thấp.

- Thứ hai, quan trắc mức áp suất âm phân bố trong phòng, nguồn âm nhiệt của loa phóng thanh, tần số bức xạ từ 600 – 1200 Hz, cho thấy sự suy giảm khá đều.



Hình 4 - 3. Mức áp suất âm với khoảng cách tới nguồn (đo trên trục bức xạ của nguồn) trong phòng

Nếu vị trí nào đó nhận được nhiều sóng tới có giá trị cực tiểu, điểm đó là điểm chết, có mức áp suất âm nhỏ nhất, nhưng vì có vô số tần số, nên cũng có những sóng tới có giá trị cực đại, mức áp suất âm lớn tới bổ sung, kết quả, sự phân bố mức áp suất âm có xu hướng đều đặn, liên tục. Tần số dao động riêng của phòng càng nhiều, trường âm càng đồng đều, năng lượng âm khuếch tán càng tốt.

Tóm lại, trong phòng, cách loa 3 mét, mức áp suất lớn hơn 3dB so với ngoài trời cùng khoảng cách.

5. Sự khuếch tán năng lượng âm trong phòng

Nếu mọi vị trí trong phòng đều nhận được áp suất âm như nhau, đồng thời nhận được sóng tới đồng đều từ mọi hướng, có thể nói, trường âm trong phòng hoàn toàn khuếch tán. Thực tế thiết kế khó đạt được trường âm khuếch tán hoàn toàn, hơn nữa cũng không cần thiết, vì nghe âm trong trường âm khuếch tán hoàn toàn sẽ mất cảm giác lập thể, không biết âm từ đâu tới. Người nghe và người biểu diễn chỉ mong muốn một mức độ khuếch tán nhất định, đủ đảm bảo phân bố đều áp suất âm, năng lượng âm tăng trưởng và tắt dần tương đối liên tục, trơn tru, hoạt tính của phòng tốt. Trường âm khuếch tán càng tốt, hoạt tính càng cao.

Trong phòng, năng lượng âm khuếch tán do những nguyên nhân:

- Những vật thể trong phòng phát tán sóng âm ra mọi hướng.

- Các bề mặt giới hạn của phòng không quy tắc, phản xạ và hấp thu đồng đều đối với mọi tần số.

Bàn ghế, phông màn, những bề mặt tường, cột lồi lõm, gồ ghề, bề mặt trần nghiêng, gẫy ... đều có tác dụng khuếch tán âm tốt. Nhưng cần nhớ rằng: hiệu quả khuếch tán năng

lượng âm tốt chỉ khi nào kích thước của các yếu tố tạo hình bằng hoặc lớn hơn chiều dài bước sóng của vô số sóng âm tới (chẳng hạn sóng âm f = 512 Hz, λ = 70cm). Nếu nhỏ hơn, hiệu quả khuếch tán không đáng kể. Cho nên trong phòng, mức độ khuếch tán càng tốt khi tần số càng cao.

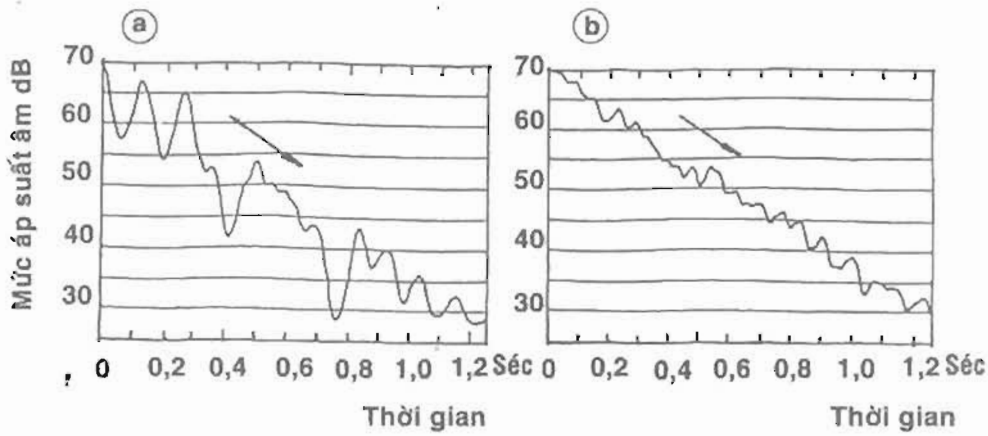
Bố trí vật liệu hút âm không quy tắc cũng là phương pháp tăng khả năng khuếch tán năng lượng âm.

Thí dụ: một phòng cần bố trí 300m^2 vật liệu hút âm, bố trí thành mảng liên tục trên một mặt tường, hiệu quả sẽ kém hơn nếu chia thành 10 mảng bố trí rải rác trên bức tường đó. Nếu bố trí phân tán không quy tắc trên tường, trần, hiệu quả khuếch tán còn cao hơn.

Hình 4 - 4 ghi nhận hai quá trình tắt dần phụ thuộc phương pháp bố trí vật liệu hút âm:

a) Vật liệu hút âm bố trí chủ yếu trên trần, quá trình tắt dần thăng giáng với biên độ khá lớn.

b) Vật liệu hút âm bố trí phân tán không quy tắc trên các bề mặt trong phòng, năng lượng âm tắt dần đều đặn hơn.



Hình 4 - 4. Quá trình tắt dần phụ thuộc phương pháp bố trí vật liệu hút âm
a) Vật liệu hút âm bố trí tập trung
b) Vật liệu hút âm bố trí phân tán không có quy luật

II. HÌNH DÁNG PHÒNG VÀ TRƯỜNG ÂM TRONG PHÒNG

Phân tích chất lượng âm trong phòng trên cơ sở lý thuyết sóng đứng hình thành trong không gian khép kín, như vậy trường âm trong phòng liên quan mật thiết với hình dáng, tỷ lệ các kích thước hình học của phòng, giải pháp xử lý các bề mặt giới hạn của phòng.

Do đó khi thiết kế, nếu bước đầu tiên chọn đúng tỷ lệ các kích thước hình học của phòng và sau đó xử lý đúng hình dáng các bề mặt trong phòng, trên cơ bản có thể tránh được

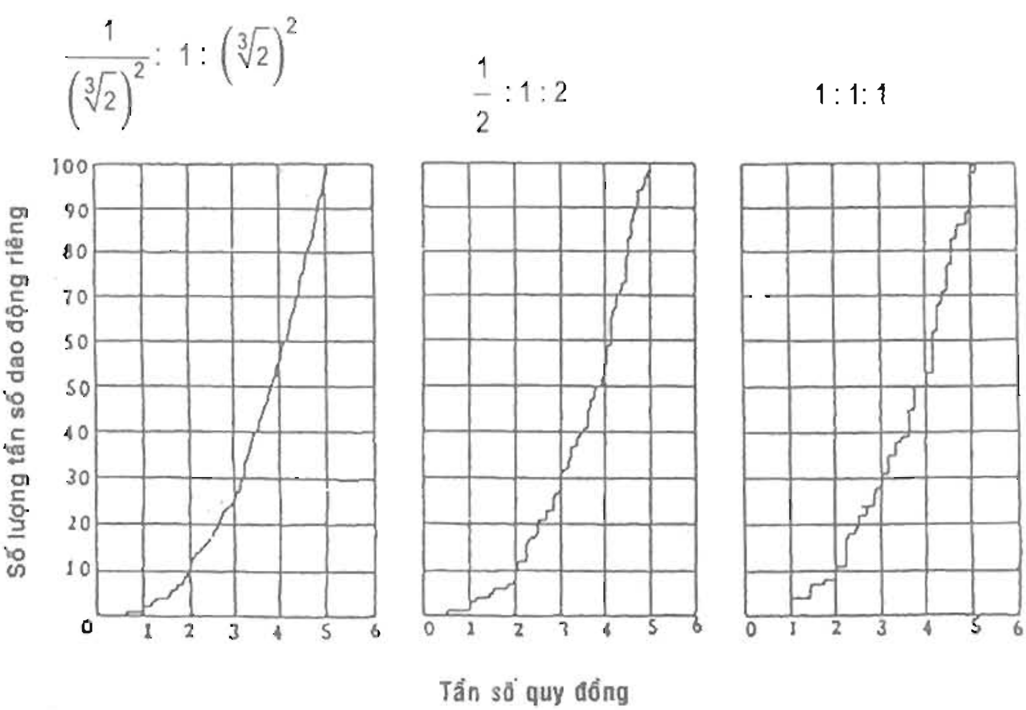
những thiếu sót về chất lượng âm. Nếu tỷ lệ các kích thước của phòng chọn không đúng, không thể tránh khỏi những thiết sót về chất lượng âm, khi đó khó có thể sửa chữa được, gây lãng phí rất lớn. Nếu nghĩ rằng những thiếu sót về chất lượng âm do hình dáng phòng gây ra có thể sửa chữa bằng cách xử lý vật liệu hút âm là hoàn toàn sai lầm, vì đó không phải là biện pháp tốt và thường không đạt được mục đích.

Hình dáng phòng, tỷ lệ các kích thước hình học của phòng đảm bảo thỏa mãn các điều kiện sau:

- Tận dụng âm trực tiếp phân bố đều trên toàn vùng chỗ ngồi. Nội dung này bao hàm việc đưa âm phản xạ ra phía sau để bổ sung cho âm trực tiếp bị suy yếu do tắt dần trên đường lan truyền. Trường âm khuếch tán phù hợp, đảm bảo tỷ lệ tốt nhất giữa trực tiếp và âm phản xạ có ích.

- Tránh tiếng dội trên toàn vùng chỗ ngồi.

- Tần số dao động riêng của phòng, trong phạm vi hẹp có thời gian âm vang (tức là tốc độ tắt dần) xấp xỉ bằng nhau. Không nên thiết kế ba kích thước (cao, rộng, dài) của phòng chênh lệch nhau quá nhiều, cũng không nên bằng nhau, hoặc một kích thước lớn hơn rất nhiều so với 2 kích thước kia. Nếu phòng có 2 kích thước bằng nhau sẽ tồn tại những cặp tần số dao động riêng bằng nhau, làm giaṁ khả năng phân bố đều trường âm trong phòng.



Hình 4 - 5. Kết quả thực nghiệm mối quan hệ giữa tần số và số lượng tần số trong ba phòng cùng thể tích và cùng chiều rộng

Hình 4 - 5 cho biết kết quả thực nghiệm mối quan hệ giữa tần số và số lượng tần số dao động riêng của ba phòng cùng thể tích, cùng chiều rộng:

Phòng 1: cao (H) x rộng (B) x dài (L) = $\frac{1}{\left(\sqrt[3]{2}\right)^2} \times 1 \times \left(\sqrt[3]{2}\right)^2 \approx 2\times3\times5$

Phòng 2: H x B x L = $\frac{1}{2}\times 1\times 2$

Phòng 3: H x B x L = 1 x 1 x 1

Có thể chọn tỷ lệ: H x B x L = $\frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{5}-1\right)\times1\times\frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{5}-1\right)^2 \approx 2\times3\times5$

Tỷ lệ phòng: **H** x **B** x **L** = 1 x 1 x 1 trường âm trong phòng xấu nhất.

Khi tỷ lệ của ba kích thước này xấp xỉ bằng **2 : 3 : 5** có thể đảm bảo trường âm tốt. Có thể dùng những tỷ lệ khác nhưng chênh lệch với tỷ lệ trên quá nhiều phải xét khả năng xuất hiện những thiếu sót về chất lượng âm do hình dáng phòng gây ra.

Tóm lại, hình dáng phòng không có quy luật, kích thước các bề mặt trong phòng xấp xỉ hoặc lớn hơn chiều dài bước sóng, vật liệu hút âm bố trí không quy tắc là những yếu tố cơ bản để tạo được trường âm khuếch tán.

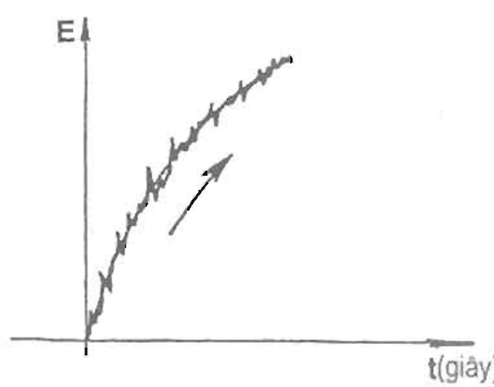
Những phù điêu trang trí trên tường, cột, v.v... không thể nào làm thay đổi rõ rệt sự phân bố tần số dao động riêng của phòng, nhất là những tần số thấp.

III. TRƯỜNG ÂM TRONG PHÒNG

Khi có một tín hiệu âm phát ra trong phòng, năng lượng âm phát triển qua ba giai đoạn:

- Năng lượng âm tăng dần (trưởng thành)
- Năng lượng âm đạt tới trạng thái ổn định, âm thanh khuếch tán
- Năng lượng âm tắt dần, hình thành âm vang.

Do tác dụng của tín hiệu âm, sẽ có nhiều dao động riêng của phòng bị kích động, khi đó những phần tử không khí trong phòng đồng thời thực hiện hai dao động: dao động riêng và dao động cưỡng bức theo tần số của nguồn âm.



Hình 4 - 6

Do lực cản nên dao động riêng tắt dần rất

nhanh, cuối cùng khi đạt tới trạng thái ổn định chỉ còn có dao động cưỡng bức theo tần số của nguồn âm.

Sự giao thoa giữa các dao động riêng và dao động cưỡng bức năng lượng âm tăng dần gập ghềnh khi thăng khi giáng (hình 4 - 6).

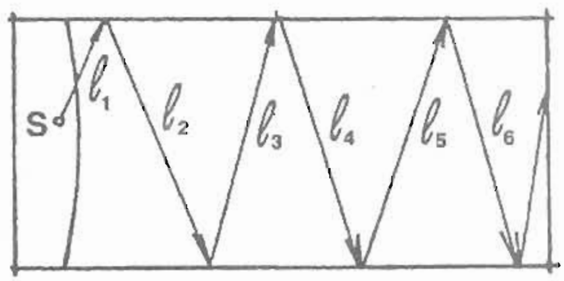
Nếu có rất nhiều dao động riêng của phòng bị kích động, năng lượng âm sẽ phân bố tương đối đều trên các hướng trong phòng, khi đó những kết quả phán đoán theo âm hình học mới gần đúng với âm vật lý, vì kết quả nhận được theo âm hình học trên cơ sở thừa nhận trong phòng chỉ có dao động cưỡng bức theo tần số của nguồn âm, năng lượng âm hoàn toàn khuếch tán.

1. Một số khái niệm

a) Thời gian trung bình, quãng đường tự do trung bình giữa hai lần phản xạ liên tiếp của sóng âm:

Giả sử mặt bằng phòng (hình 4 - 7).

Nguồn âm **S**. Khi âm thanh phát ra, sóng âm sẽ phản xạ qua lại nhiều lần giữa các bề mặt trong phòng, hình thành một đường gấp khúc, các đoạn gấp khúc chiều dài l_1, l_2, l_3 v.v... mỗi đoạn là quãng đường tự do của sóng giữa hai lần phản xạ liên tiếp, rõ ràng các quãng đường tự do không bằng nhau. Quãng đường tự do trung bình giữa hai lần phản xạ liên tiếp bằng:



Hình 4 - 7

$$l_{tb} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + ... + l_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} l_i$$

Giá trị của l_{tb} có thể xác định bằng cách lấy trung bình cộng một quãng đường gấp khúc của một sóng phản xạ liên tiếp nhiều nhất nào đó, nhưng cũng rất phức tạp.

Xuất phát từ quan niệm rằng giá trị của l_{tb} phụ thuộc vào kích thước phòng, nếu thể tích phòng **V** (m^3), vận tốc truyền sóng **C** (m/s), diện tích các bề mặt phòng là **S** (m^2), lý thuyết xác suất đã chứng minh được rằng:

- Thời gian trung bình giữa hai lần phản xạ liên tiếp bất kỳ của sóng âm, bằng:

$$\tau = \frac{4.V}{C.S}, \text{ (giây)}$$

- *Số lần phản xạ trung bình trong một giây bằng:*

$$n = \frac{1}{\tau} = \frac{C.S}{4.V} \quad \text{(lần)}$$

- *Quãng đường tự do trung bình giữa hai lần phản xạ liên tiếp bất kỳ bằng:*

$$l_{tb} = C.\tau = \frac{4.V}{S} \quad \text{(mét)}$$

Các biểu thức trên khá chính xác đối với phòng hình hộp. Phòng không phải hình hộp, kết quả tính bằng biểu thức trên có sai số nhưng không đáng kể, thường không quá 3 - 5%, đủ cho một giá trị định lượng khá tốt.

b) Tổng lượng hút âm trong phòng A (m^2)

• Hệ số hút âm trung bình $\overline{\alpha}$

Chúng ta đã biết, theo vật lý:

$$\alpha = \frac{E_\alpha}{E_d}$$

Quan niệm của kiến trúc:

Hệ số hấp thu α, biểu thị phần năng lượng sóng âm bị hấp thu sau một lần phản xạ so với năng lượng của sóng âm tới. Theo ý nghĩa đó, năng lượng âm tổn thất sau một lần phản xạ E_h bao gồm phần năng lượng bị hấp thu E_α và phần năng lượng xuyên qua E_τ sau một lần phản xạ, tức là:

$$E_h = E_\alpha + E_\tau \text{ và } \alpha = \frac{E_h}{E_d}$$

Thực tế khả năng hút âm của vật liệu còn phụ thuộc vào góc tới của sóng âm, sóng âm tới dưới góc khác nhau giá trị của α cũng khác nhau, cho nên giá trị của α đối với một vật liệu xác định luôn thay đổi, phụ thuộc vào góc tới của sóng âm. Hệ số hút âm như vậy không thể đặc trưng cho khả năng hút âm của vật liệu, vì vậy thường dùng hệ số hút âm khuếch tán.

Hệ số hút âm khuếch tán biểu thị tỷ số giữa phần năng lượng âm E_h bị mất trong vật liệu với năng lượng âm tới khuếch tán (tới từ mọi hướng có thể trên bề mặt của vật liệu).

Hệ số hút âm chúng ta sử dụng sau này và trong thực tế với ý nghĩa như vậy.

Hệ số hút âm trung bình $\overline{\alpha}$ xác định theo thống kê, là giá trị trung bình cộng của n loại vật liệu bề mặt có tính chất vật lý khác nhau, tương ứng với hệ số hút âm α_1, α_2, α_3, ... α_n.

Tức là:

$$\overline{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + ... + \alpha_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\alpha_i$$

Thực tế, nếu trong phòng có n bề mặt bằng những vật liệu hoàn toàn khác nhau, diện tích các bề mặt này là: S_1, S_2, S_3, ... S_n(m^2) tương ứng với hệ số hút âm: α_1, α_2, α_3, ... α_n, hệ số hút âm trung bình của vật liệu hoàn thiện và vật liệu trang trí trên các bề mặt giới hạn của phòng bằng:

$$\overline{\alpha} = \frac{\alpha_1.S_1 + \alpha_2.S_2 + \alpha_3.S_3 + ... + \alpha_n.S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + ... + S_n} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{n}\alpha_i.S_i = \frac{A_{cđ}}{S}$$

Trong đó: $S = S_1 + S_2 + S_3 +.. + S_n$ – tổng diện tích các bề mặt trong phòng (m^2).

• ***Lượng hút âm cố định ($A_{cđ}$), lượng hút âm thay đổi ($A_{tđ}$)***

Lượng hút âm cố định ($A_{cđ}$):

$$\sum_{i=1}^{n} S_i.\alpha_i = A_{cđ}, \quad (m^2)$$

$A_{cđ}$ – lượng hút âm cố định trong phòng, do vật liệu xây cất và vật liệu trang trí tạo nên.

Lượng hút âm thay đổi ($A_{tđ}$)

Ngoài lượng hút âm cố định của các bề mặt trong phòng, còn có lượng hút âm của những đối tượng luôn luôn thay đổi, chẳng hạn người và ghế là những đối tượng hút âm luôn luôn thay đổi, có thể 100% khán giả có mặt, nhưng cũng có thể chỉ có 70% hay ít hơn, khi đó ghế trống trở thành những đối tượng hút âm độc lập. Lượng hút âm của người và ghế gọi là lượng hút âm thay đổi ($A_{tđ}$).

Lượng hút âm thay đổi ($A_{tđ}$) bằng lượng hút âm của ghế có người cộng với lượng hút âm của ghế trống.

Lượng hút âm của ghế có người bằng số lượng ghế có người nhân với hệ số hút âm của một ghế có người.

Lượng hút âm của ghế trống bằng số lượng ghế trống nhân với hệ số hút âm của một ghế trống.

Hệ số hút âm tương đương của ghế và người và của ghế độc lập, xác định bằng hai cách:

- Xác định bằng số đơn vị hút âm của một đối tượng.
- Xác định bằng số đơn vị hút âm trên 1m^2 chỗ ngồi.

- Cách xác định 1:

Thí dụ, trong phòng có N_1 người, hệ số hút âm tương đương của mỗi người ngồi trên ghế là α_1, và có N_2 ghế độc lập, hệ số hút âm tương đương của một ghế độc lập là α_2. Khi đó lượng hút âm thay đổi (A_{td}) bằng:

$$A_{td} = N_1.\alpha_1 + N_2.\alpha_2 \quad (m^2)$$

- Cách xác định 2:

Thí dụ, trong phòng có N_1 m^2 chỗ ngồi có cả người và ghế, hệ số hút âm tương đương của mỗi m^2 chỗ ngồi là α_1 và N_2 m^2 chỉ có ghế trống, hệ số hút âm tương đương của mỗi một m^2 đặt ghế trống la α_2. Khi đó lượng hút âm thay đổi (A_{td}) bằng:

$$A_{td} = N_1.\ \alpha_1 + N_2.\ \alpha_2 \quad (m^2)$$

Tổng lượng hút âm (**A**) trong phòng bằng:

$$A = A_{cd} + A_{td}$$

Hệ số hút âm trung bình của phòng $\bar{\alpha}$ thực tế xác định bằng biểu thức:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{cd} + A_{td}}{S}$$

2. Năng lượng âm trong giai đoạn tăng dần

Sabin thừa nhận rằng: năng lượng âm trong phòng hoàn toàn khuếch tán, tức là năng lượng âm bị hấp thu liên tục trên các bề mặt trong phòng, đồng thời các bề mặt này cũng liên tục nhận được năng lượng âm từ nguồn tới.

Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có:

Năng lượng âm tăng lên trong phòng bằng hiệu số của năng lượng do nguồn bức xạ **W** với năng lượng bị hấp thu W_h trong đơn vị thời gian:

Trên cơ sở đó Sabin chứng minh được rằng:

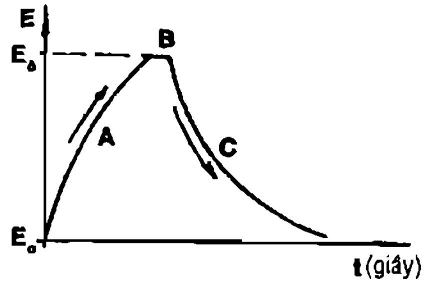
$$\bar{E} = \frac{4W}{C.A}\left(1 - e^{-\frac{CA}{4V}t}\right)$$

Phương trình này đặc trưng quá trình trưởng thành của năng lượng âm trong phòng, biểu thị bằng đoạn cong **A** trong toạ độ vuông góc (hình 4 - 8). Phần đặt trong dấu ngoặc ở vế phải là hàm số mũ, cho nên quá trình tăng dần. năng lượng âm tăng theo quy luật hàm số

mũ. Giá trị trong dấu ngoặc nhanh chóng bằng 1 theo sự tăng dần của thời gian t và đạt tới trạng thái ổn định khi t → ∞ (đoạn B).

Ta có: $$\bar{E}_ô = \frac{4W}{C.A}$$

Phương trình này đặc trưng cho giai đoạn ổn định của trường âm trong phòng. Lúc này năng lượng âm do nguồn bức xạ cân bằng với năng lượng âm bị hấp thu. Quá trình tăng của năng lượng âm dừng lại. Giai đoạn ổn định thể hiện bằng đoạn B của đường cong.



3 giai đoạn phát triển của một quá trình âm trong trường âm khuyếch tán lý tưởng (Sabin)

Hình 4 - 8

Từ phương trình năng lượng âm tăng dần, cho thấy, khi t → ∞ quá trình tăng dần mới dừng lại và đạt tới trạng thái ổn định. Thực tế, hầu hết các phòng chỉ sau một thời gian khoảng 1 giây năng lượng âm đạt trạng thái ổn định. Trong trạng thái ổn định, mật độ năng lượng âm E phụ thuộc vào công suất **W** của nguồn âm và tổng lượng hút âm **A** của phòng.

3. Giai đoạn ổn định

Khi đạt tới trạng thái ổn định, năng lượng âm trong phòng không đổi theo thời gian.

Nếu ở ngoài trời quang đãng, khoảng cách tới nguồn âm tăng lên gấp đôi, mức áp suất âm giảm 6dB. Trong phòng, do tác dụng của sóng âm phản xạ, mức âm không giảm nhanh như vậy, mặt khác, do sự chồng chất của sóng âm phản xạ và sóng âm trực tiếp tạo cho trường âm phân bố đều hơn. Tần số dao động riêng của phòng bị kích động càng nhiều, năng lượng âm phân bố càng đồng đều, trường âm càng khuếch tán.

Mật độ năng lượng âm ở giai đoạn ổn định:

$$\bar{E}_ô = \frac{4W}{C.A}$$

Mức năng lượng âm ở trạng thái ổn định L_E:

$$L_E = 10lg\frac{\bar{E}_ô}{\bar{E}_ô} = 10.lg\frac{4W/CA}{3.10^{-21}} = 10.lg\frac{W}{A} + 10.lg.\frac{4}{C.3.10^{-21}} = 10.lg\frac{W}{A} + 166, \text{ dB}$$

Như vậy, mức năng lượng âm trong phòng, ở giai đoạn ổn định không có quan hệ với hình dáng và thể tích phòng. Nếu bảo đảm những điều kiện của âm hình học, mức năng lượng âm

trong phòng chỉ phụ thuộc vào công suất âm (**W**) của nguồn và tổng lượng hút âm **A** của phòng, khi đó, nếu giảm tổng lượng hút âm **A** có thể tăng mức âm ổn định trong toàn thể tích phòng.

4. Giai đoạn năng lượng âm tắt dần, hình thành âm vang

Đạt tới trạng thái ổn định, nguồn âm ngừng tác dụng. Sóng âm phản xạ qua lại nhiều lần giữa các bề mặt trong phòng, mỗi lần phản xạ một bộ phận năng lượng âm bị hấp thu, cho nên năng lượng âm tắt dần cho tới khi không còn nghe thấy. Do nguyên nhân này, nên nguồn âm ngừng tác dụng vẫn còn nghe âm kéo dài trong một vài giây, hiện tượng này gọi là âm vang. Phòng thể tích càng lớn, quãng đường tự do giữa hai lần phản xạ liên tiếp càng dài, số lần phản xạ trong đơn vị thời gian càng ít, lượng hút âm của các bề mặt càng nhỏ, âm vang càng lâu. Một nguyên nhân nữa gây tắt dần, do các phần tử không khí dao động tiêu hao năng lượng để thắng lực cản của môi trường. Quá trình tắt dần (cũng như quá trình tăng dần), do tổng hợp của dao động riêng và dao động cưỡng bức còn dư, năng lượng âm thực tế tắt dần khi thăng khi giáng (hình 4 - 9).

Thừa nhận trường âm trong phòng khuếch tán hoàn toàn, năng lượng âm tắt dần liên tục đều đặn.

Theo đó, Sabin chứng minh được rằng:

$$\bar{E} = \frac{4W}{C.A}.e^{-\frac{CA}{4V}t} = \bar{E}_{\hat{o}}.e^{-\frac{CA}{4V}t}$$

Đây là phương trình đặc trưng năng lượng âm trong giai đoạn tắt dần, biểu thị bằng đoạn **C** trên đường cong (hình 4 - 8).

Ba giai đoạn phát triển của một quá trình âm **A**, **B**, **C** đặc trưng sự tăng trưởng và tắt dần năng lượng âm trong trường âm khuếch tán hoàn toàn – Trường âm lý tưởng.

Từ phương trình của giai đoạn ổn định: $\bar{E}_{\hat{o}} = \dfrac{4W}{C.A}$

và giai đoạn tắt dần: $\bar{E} = \bar{E}_{\hat{o}}.e^{-\frac{CA}{4V}t}$

Dễ dàng thấy rằng, nếu các bề mặt trong phòng hoàn toàn phản xạ âm, tức là $\bar{\alpha} = 0$ năng lượng âm trong phòng, khi nguồn âm còn tác dụng sẽ tăng lên vô cùng lớn, khi nguồn âm ngừng tác dụng, năng lượng âm sẽ giữ nguyên lâu vô cùng. Điều này phù hợp với phòng kín.

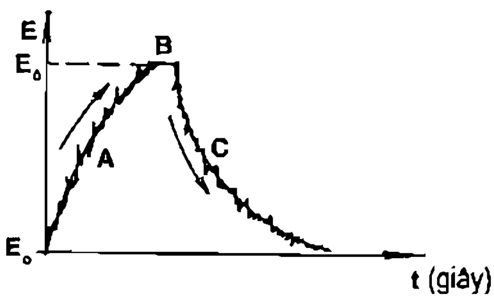
Nếu năng lượng âm bị hấp thu hoàn toàn, tức là $\bar{\alpha} = 1$:

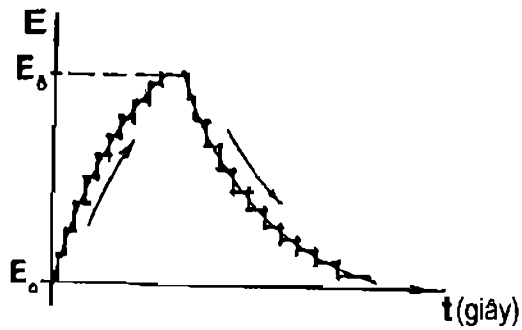
$$\bar{E} = \bar{E}_{ô}.e^{-\frac{C.\bar{\alpha}.S}{4V}t} = \frac{4W}{C.\bar{\alpha}.S}.e^{-\frac{C.\bar{\alpha}.S}{4V}t} = \frac{4W}{C.S}.e^{-\frac{C.S}{4V}t}$$

Phương trình này chứng tỏ quá trình tắt dần phụ thuộc vào tỷ số **S/V** của phòng, điều này không phù hợp với thực tế xảy ra trong phòng kín, vì sự hút âm hoàn toàn ($\bar{\alpha} = 1$) chỉ có trong không gian tự do. *Như vậy phương trình này không phù hợp và không dùng được khi* $\bar{\alpha} \approx 1$.

Kết quả này đã thúc đẩy Ering xét lại phương pháp giải quyết bài toán xác định năng lượng âm trong phòng khi nguồn âm còn tác dụng và sau khi ngừng tác dụng.

Ering xác minh rằng sự hấp thu năng lượng âm trong quá trình tăng dần và tắt dần không liên tục, trơn tru, ngược lại khi thăng khi giáng, khi giảm khi ngưng như hình bậc thang (hình 4 - 9), trong đó mỗi bậc thang xác định bằng thời gian trung bình (τ) giữa hai lần phản xạ liên tiếp. Ering vẫn giữ những giả thiết của Sabin tức là cũng thừa nhận trường âm khuếch tán hoàn toàn.





Hình 4 - 9. Ba giai đoạn phát triển của một quá trình âm trong trường âm thực tế (Ering)

Từ đó Ering chứng dẫn tới kết quả:

$$\bar{E} = \frac{4W}{A.C.}\left[1 - e^{-\frac{C.S.\ln(1-\bar{\alpha})}{4V}t}\right]$$

Đây là phương trình năng lượng âm trong giai đoạn trưởng thành, với $\bar{\alpha} < 1$, **ln** có giá trị âm, cho nên khi $t \to \infty$ số hạng trong ngoặc tiến tới bằng 1, khi đó trường âm đạt tới trạng thái ổn định:

$$\bar{E} = \bar{E}_{ô} = \frac{4W}{A.C}$$

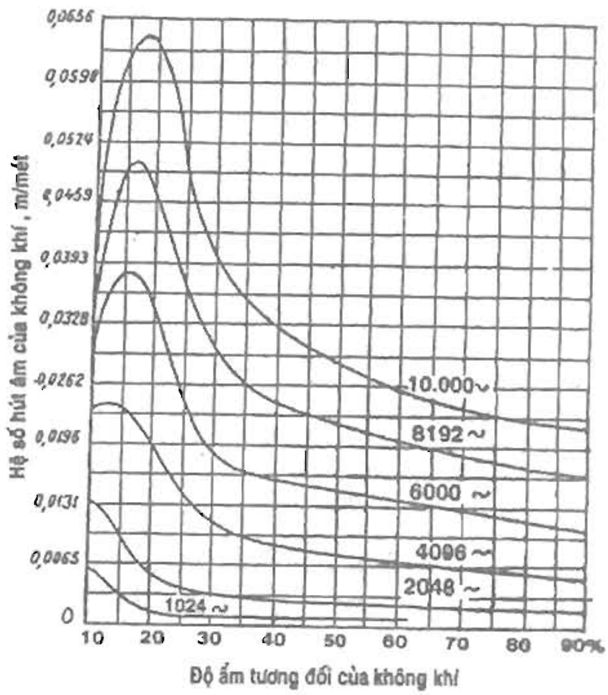
Sau khi nguồn âm ngừng tác dụng, năng lượng âm phản xạ qua lại nhiều lần giữa các bề mặt của phòng và tắt dần theo quy luật:

$$\overline{E} = \overline{E}_{\hat{o}}.e^{\frac{CS.\ln(1-\overline{\alpha})}{4V}.t}$$

Nếu kể tới tác dụng hút âm của không khí, phương trình tắt dần của Ering có dạng:

$$\overline{E} = \overline{E}_{\hat{o}}.e^{\frac{S.\ln(1-\overline{\alpha})-4mV}{4V}.ct}$$

Trong đó: **m** – hệ số hút âm của không khí (1/m), phụ thuộc vào độ ẩm φ(%), nhiệt độ không khí và tần số của sóng âm (hình 4 - 10).



Hình 4 - 10. Hệ số hút âm của không khí

Đây là phương trình năng lượng âm trong giai đoạn tắt dần. Phương trình này phù hợp với tình hình thực tế hơn. Khi $\overline{\alpha} = 0$, hai phương trình như nhau, khi $\overline{\alpha} = 1$, **ln** ở số mũ có giá trị âm vô cùng, mật độ năng lượng âm nhanh chóng giảm xuống bằng 0. Điều này phù hợp với thực tế của quá trình tắt dần trong điều kiện hút âm hoàn toàn. Phương pháp Ering giải quyết bài toán với hệ số hút âm bất kỳ tương đối chính xác hơn phương pháp Sabin coi quá trình tăng dần và tắt dần trơn tru. Tuy nhiên, phương pháp Sabin cũng cho kết quả đáng tin cậy với trường hợp hệ số hút âm bé ($\overline{\alpha} < 0,2$).

Từ những phân tích trên có thể rút ra mấy nhận xét tổng quan:

- Quá trình tăng dần và tắt dần của năng lượng âm trong trường âm khuếch tán của phòng theo quy luật hàm số mũ. Độ dốc của đường cong tắt dần và tăng dần phụ thuộc giá trị của số mũ theo **e**. Tốc độ tăng và giảm của quá trình phụ thuộc vào tỷ số **S/V**, hệ số hút âm $\overline{\alpha}$ của phòng, phụ thuộc vào tác dụng hút âm của không khí, nhất là đối với âm tần số cao (≥ 2000Hz).

- Quá trình trưởng thành là quá trình trong đó năng lượng âm do nguồn bức xạ lớn hơn năng lượng âm bị hấp thu. Quá trình này kéo dài cho tới khi hai thành phần năng lượng bức xạ và hấp thu cân bằng, khi đó đạt tới trạng thái ổn định.

Tóm lại, phương pháp Ering phù hợp với mọi giá trị của $\overline{\alpha}$, sử dụng để thiết kế kỹ thuật. Phương pháp Sabin đúng với $\overline{\alpha} \leq 0,2$, áp dụng trong thiết kế sơ bộ.

IV. ĐỘ TẮT DẦN TRUNG BÌNH

Để đơn giản tính toán, thiết kế và tiện khảo sát trong thực tế, thường dùng độ tắt dần trung bình $\overline{\Delta L}_\alpha$

Theo trên đây, năng lượng âm hấp thu trong trường âm khuếch tán:

$$E_h = E_d.\overline{\alpha}$$

Năng lượng âm phản xạ:

$$E_f = E_d - E_h = E_d(1-\overline{\alpha})$$

Mức năng lượng bị hấp thu bằng:

$$\overline{\Delta L}_\alpha = L_d - L_f = 10.\lg\frac{E_d}{E_f}$$

Hay là:

$$\overline{\Delta L}_\alpha = 10.\lg\frac{1}{1-\overline{\alpha}}, \quad \text{(dB/mỗi lần phản xạ)}$$

Số lần phản xạ trong một giây: **n = CS/4V**

Do đó $\overline{\Delta L}_\alpha$ trong một giây bằng:

$$\overline{\Delta L}_\alpha = \frac{C.S}{4V}10.\lg\frac{1}{1-\overline{\alpha}}, \quad \text{(dB/giây)}$$

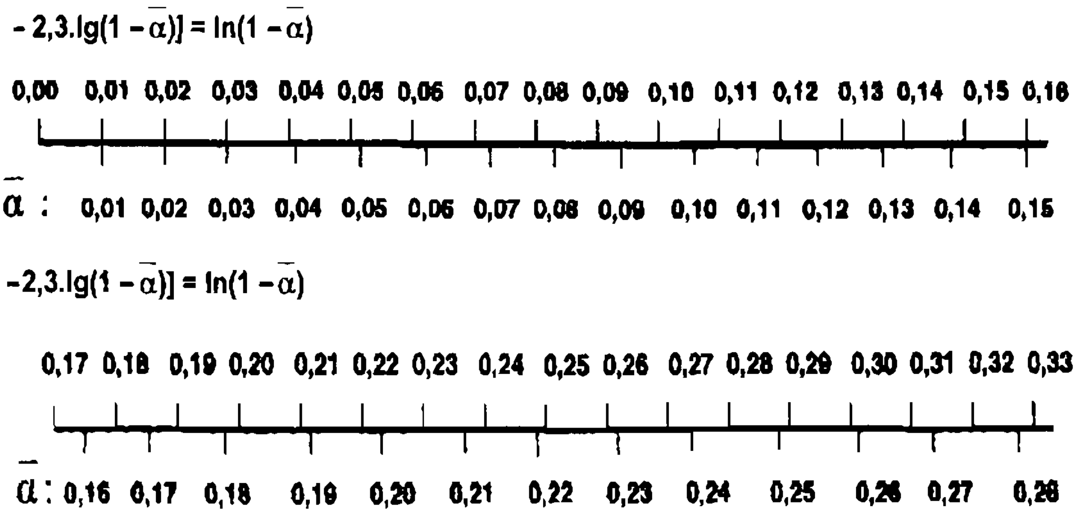
Thay C = 345m/s:

Với hệ số hút âm nhỏ ($\overline{\alpha} < 0,2$) ta có:

$$(\ln(1-\overline{\alpha}) = -2,3.\lg(1-\overline{\alpha}) \approx \overline{\alpha} \quad \text{(xem toán đồ hình 4 - 11)}$$

Khi đó

$$\overline{\Delta L}_\alpha = 370.\frac{S}{V}.\overline{\alpha}, \quad \text{(dB/giây)}$$



Hình 4 - 11

Thí dụ: Một giảng đường có kích thước: cao x rộng x dài = 6 x 9 x 15 (m^3)

$$S = S_S + S_T + S_{TR} = 2.[(15 \times 9) + (9 \times 6) + (6 \times 15)] = 558m^2$$

$$V = 6 \times 19 \times 15 = 810m^3$$

Hệ số hút âm của sàn, tường, trần: $\alpha_S = 0{,}15$; $\alpha_T = 0{,}12$; $\alpha_{TR} = 0{,}1$

$$\bar{\alpha} = \frac{S_S.\alpha_S + S_T.\alpha_T + S_{TR}.\alpha_{TR}}{S_S + S + S_{TR}} = \left(\frac{135.0{,}15 + 288.0{,}12 + 135.0{,}1}{558}\right) = 0{,}12$$

$$\bar{\Delta L}_{\alpha} = 370.\frac{S}{V}.\bar{\alpha} = 370.\frac{558}{810}.0{,}12 = 30 \quad \text{(dB/giây)}$$

V. VÙNG ÂM TRỰC TIẾP VÀ VÙNG ÂM PHẢN XẠ

Truyền âm ngoài trời, nhất là truyền âm trong phòng, phân biệt vùng âm trực tiếp và vùng âm phản xạ chỉ là phân vùng gần đúng. Thực tế, trong vùng âm trực tiếp luôn luôn tồn tại âm phản xạ, trong vùng âm phản xạ có âm trực tiếp (hình 4 - 12).

Giả sử nguồn âm **S**, công suất bức xạ **W** (Watt) như đã biết, cường độ âm trực tiếp tới từ nguồn tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách ℓ(mét) tới nguồn:

$$I_{tt} = \frac{W}{4\pi.\ell^2} \quad \text{(Watt/m}^2\text{)}$$

Cường độ âm trực tiếp I_{tt} phụ thuộc khoảng cách tới nguồn. Khi ♣ đủ lớn cường độ âm trực tiếp không còn có ý nghĩa. Khi đó âm nghe được chỉ là âm phản xạ từ các bề mặt giới hạn của phòng truyền tới.

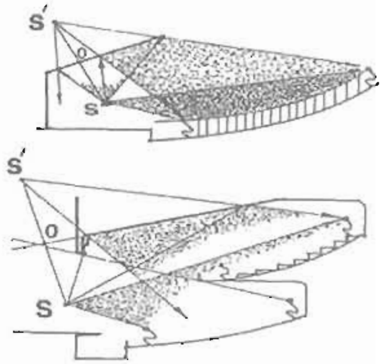
Nếu hệ số hút âm trung bình trong phòng: $\bar{\alpha}$

Cường độ âm hấp thu sau một lần phản xạ:

$$I_h = \bar{\alpha}.I_{tt}$$

Cường độ âm phản xạ:

$$I_F = I_{tt} - \bar{\alpha}.I_{tt} = I_{tt}(1 - \bar{\alpha})$$



Hình 4 - 12. Vùng âm trực tiếp
Vùng âm phản xạ

Cường độ âm tổng hợp tại vị trí cách nguồn ♣ mét (chỉ tính âm phản xạ lần thứ nhất):

$$I = I_{tt} + I_F = I_{tt} + I_{tt}.(1 - \bar{\alpha})$$

Hay là:
$$I = I_{tt}[1 + (1 - \bar{\alpha})] = I_{tt}(2 - \bar{\alpha})$$

Mức cường độ âm tổng hợp tương ứng:

$$L_I = 10\lg\frac{I_{tt}(2 - \bar{\alpha})}{I_0} = 10\lg\frac{I_{tt}}{I_0} + 10\lg(2 - \bar{\alpha})$$

$$L_I = L_{tt} + 10\lg(2 - \bar{\alpha}), \text{ dB}$$

Khi khoảng cách ♣ đủ lớn, $L_{tt} \rightarrow 0$, $L_I = 10\lg(2 - \bar{\alpha})$, khi đó ta có ♣ giới hạn (♣$_{gh}$), mức cường độ âm nghe được chỉ có âm phản xạ phụ thuộc vào giá trị của $\bar{\alpha}$.

Chương 5

TIÊU CHUẨN ĐÁNH GIÁ ĐỊNH LƯỢNG CHẤT LƯỢNG ÂM TRONG PHÒNG

Việc lựa chọn tiêu chuẩn đánh giá định lượng chất lượng âm trong phòng liên quan mật thiết tới việc áp dụng các giải pháp kiến trúc và cấu tạo của phòng. Lựa chọn đúng tiêu chuẩn đánh giá sẽ tạo được trường âm tốt, thỏa mãn yêu cầu sử dụng, nếu lựa chọn không đúng, chất lượng âm trong phòng không thỏa mãn yêu cầu sử dụng, thậm chí không sử dụng được.

Cho đến nay, tiêu chuẩn đánh giá định lượng chất lượng âm trong phòng là thời gian âm vang, một tiêu chuẩn đặc trưng tính chất âm học tổng hợp của phòng, ngoài ra còn sử dụng hai tiêu chuẩn cục bộ:

- Độ rõ của tín hiệu
- Mức độ khuếch tán của trường âm – thông qua mức áp suất âm phân bố trong phòng.

Còn có ý kiến đề nghị một số tiêu chuẩn bổ sung:

- Dao động của áp suất âm và cường độ âm từ mọi hướng tới các vị trí trong phòng.
- Tiêu chuẩn bức xạ của nguồn âm ...

Nếu xử lý các mặt phản xạ hợp lý, tận dụng năng lượng âm phản xạ có ích bổ sung cho âm trực tiếp, đồng thời giảm mức ồn trong phòng, khắc phục âm phản xạ vô ích để tăng độ rõ của tín hiệu, tăng khả năng khuếch tán của trường âm.

I. MỨC ĐỘ KHUẾCH TÁN CỦA TRƯỜNG ÂM

Đánh giá mức độ khuếch tán của trường âm thông qua việc xác định mức năng lượng âm (L_E) phân bố trong phòng, tại 15 vị trí đặc trưng.

- Ở tầng trệt gồm 9 vị trí: 3 vị trí ở hàng ghế đầu, 3 vị trí ở hàng ghế giữa và 3 vị trí ở hàng ghế cuối.
- Trên ban công gồm 6 vị trí: 3 vị trí ở hàng ghế đầu, 3 vị trí ở hàng ghế cuối.

Thông thường, mức áp suất âm phân bố trong phòng cao hơn mức ồn trong phòng từ 10 – 15dB mới đảm bảo nghe rõ.

Sự lan truyền âm trong phòng không những phụ thuộc vào tính chất bức xạ năng lượng của nguồn mà còn phụ thuộc vào hình dáng phòng, hình dáng và cách xử lý vật liệu hút âm

trên các bề mặt trong phòng, nhất là phòng có hình dáng phức tạp, việc xác định mức áp suất âm trong phòng rất khó khăn, chỉ có thể xác định trên cơ sở những giả thiết đơn giản hóa.

Trong phòng khán giả nói chung, mức áp suất âm yêu cầu từ 60 – 80dB.

Trong trạng thái ổn định, mật độ năng lượng âm ở mọi điểm trong phòng gồm 2 phần:

- Thứ nhất: mật độ năng lượng âm trực tiếp do nguồn bức xạ truyền tới (E_1). Nếu công suất của nguồn âm là **W** (Watt), tại điểm cách nguồn âm ℓ (mét) cường độ âm tại điểm đó bằng:

$$I = \frac{W}{4\pi.\ell^2} \quad (W/m^2)$$

$$\rightarrow E_1 = \frac{I}{C} = \frac{W}{C4\pi.\ell^2}$$

- Thứ hai: mật độ năng lượng âm khuếch tán do toàn bộ sóng phản xạ từ các bề mặt trong phòng tới điểm đó. Lượng năng lượng âm này có thể xác định gần đúng bằng mật độ năng lượng âm còn lại (E_2) sau lần phản xạ đầu tiên trong giai đoạn ổn định E_0 = **4W/AC**.

$$E_2 = E_0 - E_0.\bar{\alpha} = E_0(1 - \bar{\alpha}) = \frac{4W}{C.A}1 - \bar{\alpha})$$

Mật độ năng lượng âm tổng hợp tại điểm khảo sát bằng:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{W}{C}\left[\frac{1}{4\pi.\ell^2} + \frac{4}{A}(1 - \bar{\alpha})\right]$$

Mức năng lượng âm:

$$L_E = 10.\lg\frac{E}{E_0} = 10.\lg W.\left[\frac{1}{4\pi.\ell^2} + \frac{4(1 - \bar{\alpha})}{A}\right] + 120, \text{ dB}$$

Lưu ý: W_0, E_0 và I_0 (ở ngưỡng nghe của âm chuẩn), $E_0 = I_0/C$

Hay là:

$$L_E = 10.\lg W\left[\frac{1}{4\pi.\ell^2} + \frac{4}{A/(1 - \bar{\alpha})}\right] + 120, \text{ dB}$$

Đặt **R** = $A/(1 - \bar{\alpha})$ gọi là hằng số phòng (m^2): $W_0 = 10^{-12}$ **Watt** - công suất âm ở ngưỡng nghe của âm chuẩn.

Ta có:
$$L_E = 10.\lg W + 10.\lg.\left[\frac{1}{4\pi.\ell^2} + \frac{4}{R}\right] + 120,\ \text{dB}$$

Khi ℓ đủ lớn, $1/4\pi\ell^2 \rightarrow 0$, khi đó mức âm nghe được chỉ có âm phản xạ.

Nếu xét tính định hướng **Q** của nguồn âm:

$$L_E = 10.\lg W + 10.\lg.\left[\frac{Q}{4\pi.\ell^2} + \frac{4}{R}\right] + 120,\ \text{dB}$$

Nếu kể tới tác dụng hút âm của không khí :

$$R = \frac{S.\left(\bar{\alpha} - \dfrac{4m.V}{S}\right)}{1 - \left(\bar{\alpha} + \dfrac{4m.V}{S}\right)}$$

Trong đó: **m** - hệ số hút âm của không khí, có thể tìm từ biểu đồ hình 4 - 14.

Giá trị của **Q** có thể lấy như sau:

- Nguồn âm điểm, bức xạ sóng cầu: **Q** = 1
- Trong các phòng biểu diễn nếu nguồn âm đặt giữa sân khấu: **Q** = 1
- Nguồn âm đặt trên một phía tường: **Q** = 2
- Nguồn âm đặt ở góc tường: **Q** = 4
- Nguồn âm đặt ở góc giao nhau giữa ba mặt phẳng: **Q** = 8

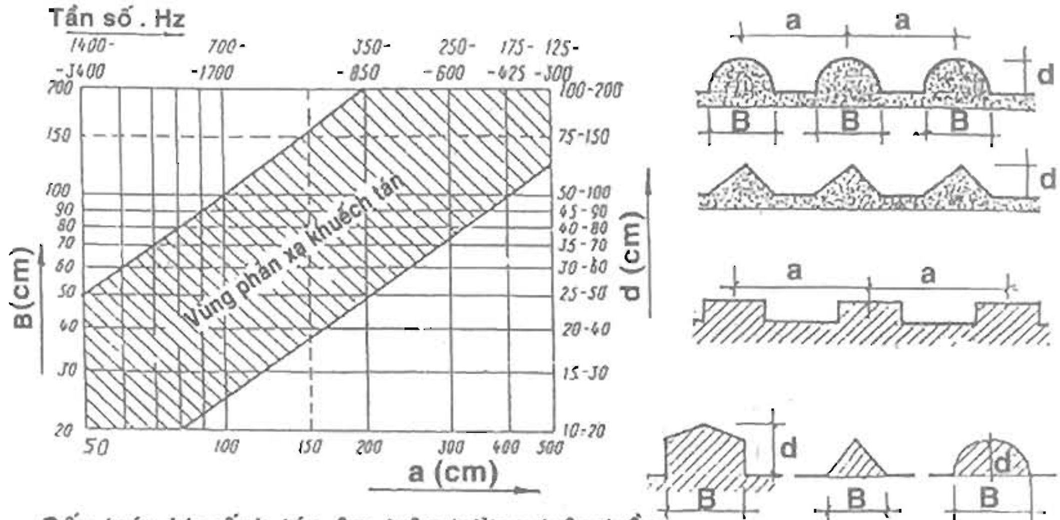
Hệ số định hướng thường phải xét rất kỹ khi sử dụng hệ thống điện thanh.

1. Cấu tạo khuếch tán âm

Để tăng khả năng khuếch tán năng lượng âm, trường âm phân bố đồng đều trong phòng, thường tạo một số yếu tố kiến trúc trên các bề mặt trong phòng theo một tỷ lệ lựa chọn thích hợp và kết hợp với việc bố trí vật liệu hút âm. Có thể tham khảo chỉ dẫn trong hình 5 - 1.

Các yêu tố hình trụ, lăng trụ, hiệu quả khuếch tán âm tần số trung và cao tốt. Những yếu tố góc vuông khuếch tán âm tần số thấp tốt.

Khuếch tán âm dải tần số rộng sẽ có hiệu quả tốt khi kích thước các yếu tố này trên các bề mặt tường và trần lớn hơn 2 mét và sâu một số centimet.



Cấu trúc khuếch tán âm trên tường trên trần

Kích thước hình học : $(2\pi f/C)B \geq 4$; $d/B \geq 0,15$; $\lambda < a < 3\lambda$

Trong đó : f, λ - tần số, bước sóng của sóng âm tới

Hình 5 - 1

Thí dụ:

Phòng khán giả của một nhà hát **N** = 1200 chỗ ngồi. Thể tích **V** = 9700 m^3

Diện tích các bề mặt trong phòng **S** = 3135 m^2. Hệ số hút âm trung bình ở tần số 500 Hz: $\overline{\alpha}$ = 0,263; **S.**$\overline{\alpha}$ = 3135 x 0,263 = 824,5m^2; **R** = **S.** $\overline{\alpha}/(1 - \overline{\alpha})$ = 824,5/(1 – 0,263) = 1120m^2

Hệ số định hướng của nguồn âm **Q** = 1

Mức âm yêu cầu ở giữa phòng 60dB, vị trí này cách nguồn âm r = 22,5m.

- Tính công suất tiếng nói của diễn viên?

- Tính mức áp suất âm ở hàng ghế cuối cùng cách nguồn âm r = 34m?

Giải:

- Tính công suất âm của diễn viên:

$$L_E = 10.\lg W + 10.\lg.\left[\frac{Q}{4\pi . r^2} + \frac{4}{R}\right] + 120$$

$$60 = 10.\lg W + 10.\lg.\left[\frac{1}{4 \times 3,14 \times (22,5)^2} + \frac{4}{1120}\right] + 120$$

$$\lg W = -\lg 3870 = -3,5877$$

$$W = 278\ \mu Watt = 278.10^{-6} \quad \text{(Watt)}$$

- Mức áp suất âm ở hàng ghế cuối cùng cách nguồn âm 34m:

$$L_E = 10.\lg 278.10^{-6} + 10.\lg\left[\frac{1}{4\times 3,14\times (34)^2} + \frac{4}{1120}\right] + 120 = 60 \quad \text{(dB)}$$

2. Yêu cầu đối với cấu trúc các âm phản xạ đầu tiên

Đảm bảo được cấu trúc các âm phản xạ đầu tiên sẽ tăng độ khuếch tán, độ rõ, đồng thời chất lượng âm phong phú hơn.

Khi nguồn âm ngừng tác dụng, những âm phản xạ tới một điểm nào đó trong phòng sau âm trực tiếp trong vòng 50 ms gọi là những âm phản xạ đầu tiên. Nếu âm phản xạ lần thứ nhất, thứ 2 ... đều sau âm trực tiếp trong vòng 50ms nhưng mức áp suất âm bé hơn mức áp suất âm trực tiếp quá 10dB sẽ không nghe thấy, không có tác dụng hỗ trợ cho âm trực tiếp, không gây ra hiệu quả âm vang.

Chênh lệch thời gian đến, chênh lệch mức âm giữa phản xạ đầu tiên với âm trực tiếp ảnh hưởng tới độ to, độ rõ, độ phong phú của chất lượng âm trong phòng.

Cấu trúc các âm phản xạ bao gồm 2 yếu tố:

- Chênh lệch thời gian.

- Chênh lệch mức áp suất âm.

Chênh lệch thời gian giữa âm trực tiếp với âm phản xạ hoặc giữa các âm phản xạ với nhau có thể xác định bằng công thức :

$$\Delta t = \frac{(\ell + \Delta\ell)}{C} - \frac{\ell}{C} = \frac{\Delta\ell}{C} \quad \text{(giây)}$$

Trong đó: ℓ – quãng đường đi của âm trực tiếp (m)

$(\ell + \Delta\ell)$ – quãng đường đi của âm phản xạ tiếp sau (m).

Theo A.H.Katrerovit, cấu trúc tốt nhất của âm phản xạ với âm trực tiếp như hình 5 - 2.

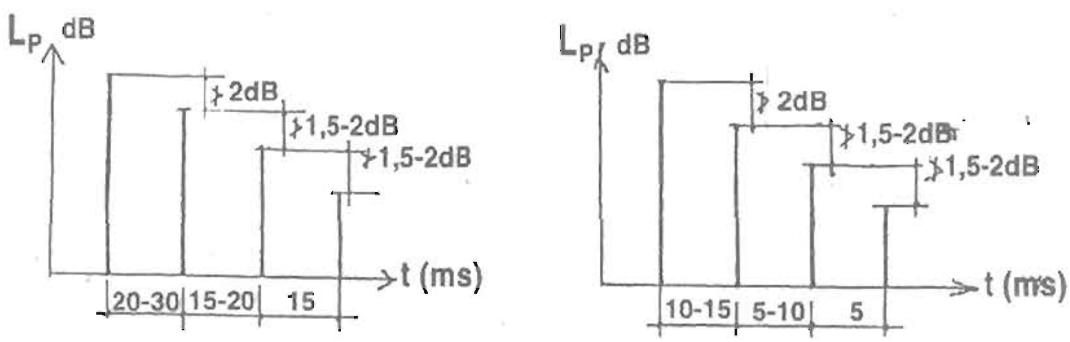
Giá trị chênh lệch giữa mức áp suất âm trực tiếp với âm phản xạ có thể xác định bằng cách lập tỉ số giữa năng lượng âm trực tiếp với âm phản xạ.

Năng lượng âm trực tiếp E_{tt} tới một điểm nào đó cách nguồn âm ℓ_1 (m).

Năng lượng âm phản xạ lần thứ nhất tới điểm đó, phải vượt qua quãng đường ℓ_2 (m).

Mức áp suất âm chênh lệch bằng:

$$\Delta L_1 = 10.\lg\frac{1}{1-\overline{\alpha}} + 20.\lg\frac{\ell_2}{\ell_1} \quad \text{(dB)}$$



Đối với âm nhạc **Đối với tiếng nói**

Hình 5 - 2

Bằng cách tương tự, mức áp suất âm chênh lệch giữa âm phản xạ lần thứ nhất với âm phản xạ lần thứ hai quãng đường đi ℓ_3 bằng:

$$\Delta L_2 = 10.\lg\frac{1}{1-\overline{\alpha}} + 20.\lg\frac{\ell_3}{\ell_2} \quad \text{(dB)}$$

Nếu kể đến tác dụng hút âm của không khí :

$$\Delta L_1 = 10.\lg\frac{1}{1-\overline{\alpha}} + 20.\lg\frac{\ell_2}{\ell_1} - \delta \quad \text{(dB)}$$

$$\Delta L_2 = 10.\lg\frac{1}{1-\overline{\alpha}} + 20.\lg\frac{\ell_3}{\ell_2} - \delta \quad \text{(dB)}$$

Trong đó:

$10.\lg\frac{1}{1-\overline{\alpha}}$ – Độ giảm trung bình của mức áp suất âm sau mỗi lần phản xạ (dB). (Mức âm trung bình bị hấp thu sau mỗi lần phản xạ)

α – hệ số hút âm trung bình của phòng

$20.\lg\dfrac{r_{(i+1)}}{r_i}$ - Độ giảm mức áp suất âm do chênh lệch đường đi

δ – mức âm chênh lệch tăng thêm do tác dụng hút âm của không khí, thường lấy: $\delta = 0,001.(r_{(i+1)} - r_i)$

II. ÂM VANG – THỜI GIAN ÂM VANG

1. Âm vang

Ở trạng thái ổn định, nguồn âm ngừng tác dụng, sóng âm liên tục phản xạ qua lại nhiều lần giữa các bề mặt trong phòng, mỗi lần phản xạ một phần năng lượng âm bị hấp thu và tắt dần cho đến khi không còn nghe thấy cho nên vẫn còn nghe âm kéo dài trong vài giây. Hiện tượng này gọi là âm vang.

Thực chất của quá trình âm vang chỉ được giải thích đầy đủ trên cơ sở lý thuyết sóng (âm vật lý). Theo quan điểm sóng, âm vang là quá trình tắt dần của những dao động còn dư của các phần tử không khí trong phòng sau khi nguồn âm ngừng tác dụng. Quá trình này là tổng hợp vô số những dao động tự do của các phần tử không khí trong phòng.

Khi nguồn âm tác dụng kích động các phần tử không khí trong phòng dao động theo tần số của nguồn âm, khi nguồn âm ngừng bức xạ, dao động của các phần tử không khí trong phòng lập tức biến đổi từ tần số của nguồn âm về tần số dao động tự do của nó. Như vậy, khi xuất hiện âm vang cũng xuất hiện quá trình dao động tự do của các phần tử không khí trong phòng. Nếu phòng có rất nhiều tần số dao động riêng phù hợp với tần số của nguồn âm và phân bố đều trong phòng mới có được trường âm tắt dần tương đối đồng đều, quá trình âm vang trên các phương xấp xỉ như nhau.

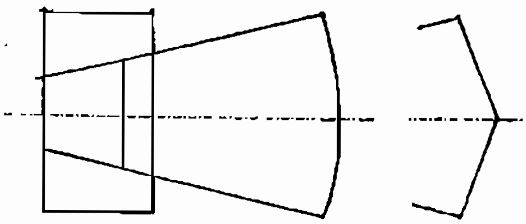
Thực tế các phòng, quãng đường phản xạ trên các hướng dài ngắn khác nhau, lượng hút âm phân bố trên các bề mặt không đồng nhất là những nguyên nhân dẫn đến trường âm không đồng đều.

Khắc phục hiện tượng này bằng cách chọn tỷ lệ các kích thước hình học của phòng hợp lý, hình dáng phòng quy chuẩn, hình dáng các bề mặt trong phòng không quy tắc, phân bố vật liệu hút âm đồng đều trên các hướng ... khi đó mọi vị trí chỗ ngồi đều nhận được năng lượng âm trực tiếp và âm phản xạ xấp xỉ như nhau về số lượng, cấu trúc, thời gian, quãng đường.

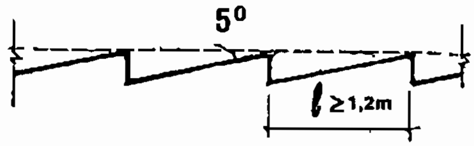
Trong phòng lượng hút âm thay đổi chiếm một tỷ lệ rất lớn trong tổng lượng hút âm của phòng, lượng hút âm trên tường và trần không nhiều, tần số dao động giữa cặp bề mặt tường dọc, đặc biệt lâu, âm vang dài, vì vậy thường thiết kế các cặp bề mặt không song song nhau

để khắc phục hiện tượng sóng đứng tồn tại quá lâu trên các hướng có lượng hút âm nhỏ, tạo điều kiện để sóng đứng xuất hiện xấp xỉ bằng nhau trên các hướng trong phòng (hình 5 - 3).

Trong những yếu tố đó, tỷ lệ các kích thước hình học, hình dáng phòng hợp lý đóng vai trò nền tảng của chất lượng âm trong phòng, những yếu tố khác chỉ có tác dụng điều chỉnh.



Giải pháp tạo số lượng sóng đứng xuất hiện trên các hướng xấp xỉ nhau



Tường, trần gãy $l \geq 1{,}2$m tránh được sóng đứng tần số $f \leq 200 - 300$ Hz

Hình 5 - 3

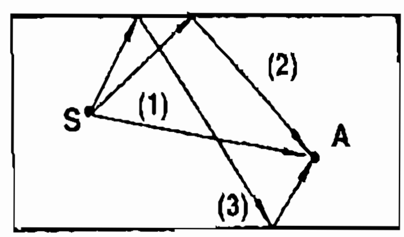
Hình 5 - 4 mô tả quá trình tăng dần của trường âm trên mặt bằng phòng:

Nguồn âm **S** phát âm:

- Trước tiên thính giả **A** nhận cường độ âm trực tiếp I_{tt} (1).

- Tiếp theo, nhận âm phản xạ lần 1: I_1 (2), âm phản xạ lần 2: I_2 (3).

Mỗi lần phản xạ, một phần năng lượng âm bị hấp thu, do đó: $I_2 < I_1 < I_{tt}$.



Hình 5 - 4. Trường âm trong mặt bằng phòng

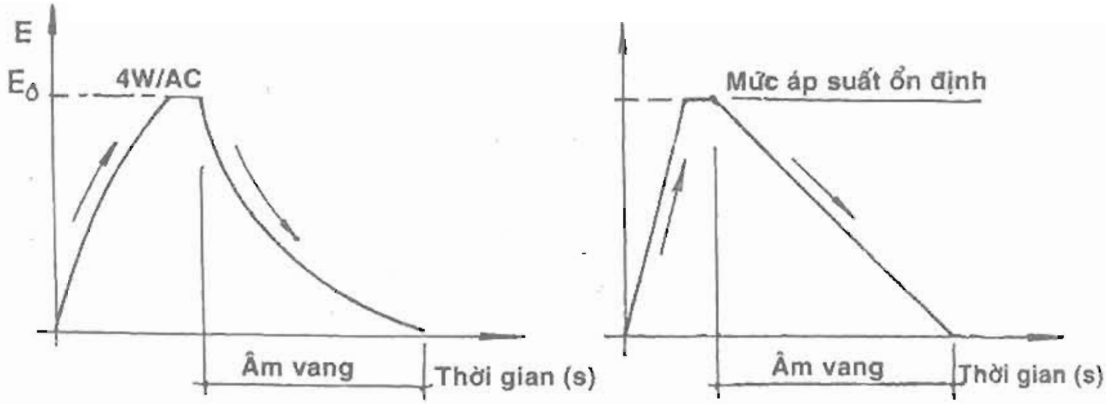
Cường độ âm tới **A** suy yếu dần, nhưng tổng hợp cường độ âm tăng dần tới trạng thái ổn định:

$$\bar{E}_ô = \frac{4W}{CA}$$

Tiếp sau trạng thái ổn định là quá trình tắt dần, hình thành âm vang (hình 5 - 5).

Trong phòng, nếu tiếp sau âm trực tiếp, các âm phản xạ lần thứ 1, 2, 3 ... liên tục đến người nghe với thời gian chênh lệch nào đó người nghe không phân biệt được, nghe như một âm duy nhất, quá trình tăng dần và tắt dần (quá trình âm vang) là một đường cong trơn tru. Trường âm như vậy là trường âm khuếch tán lý tưởng.

Từ đường cong dễ dàng thấy rằng, quá trình tăng dần, cảm giác của tai người trải qua rất nhanh, chỉ trong một vài phần của giây, còn quá trình tắt dần xảy ra chậm hơn nhiều do tác dụng của âm phản xạ.



Hình 5 - 5. Ba giai đoạn phát triển của một quá trình âm
Sự hình thành âm vang trong trường âm lý tưởng

2. Thời gian âm vang (T)

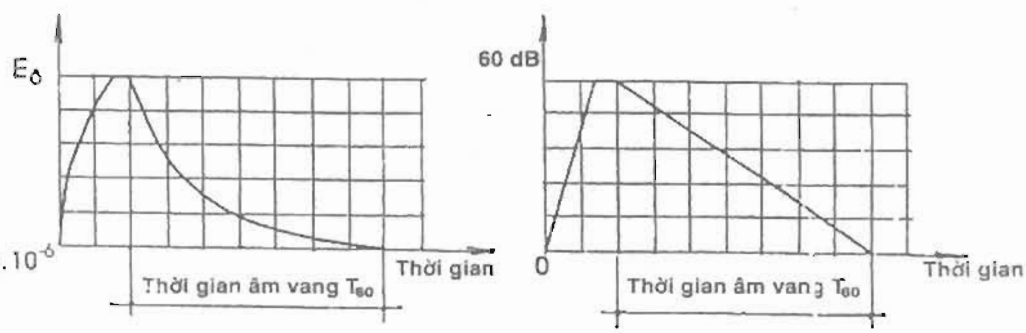
Trong phòng, nếu âm vang quá dài, âm vang của tiếng trước che lấp phủ nhòa tiếng sau, nghe không rõ. Ngược lại, nếu âm vang quá ngắn, âm nghe khô, cộc lốc. Vì vậy việc chọn giá trị thời gian âm vang có ý nghĩa quan trọng khi thiết kế chất lượng âm trong phòng.

Trong một số phòng, nội dung của chất lượng âm chủ yếu yêu cầu nghe rõ và hiểu được tiếng nói: giảng đường, phòng họp, phòng nói chuyện , v.v...

Phòng có mục đích sử dụng khác nhau, thời gian âm vang dài ngắn yêu cầu khác nhau.

Khi thiết kế trang âm thường căn cứ vào thời gian âm vang tối ưu của tần số 500 Hz. Thời gian âm vang tối ưu của các tần số khác suy từ thời gian âm vang tối ưu của tần số 500Hz, vì rằng tần số 500 Hz là tần số giới hạn giữa âm trầm với âm trung và cao cho nên có tính chất đại diện nhất định cho hai miền tần số này.

- ***Thời gian âm vang tiêu chuẩn***



Hình 5 - 6. Định nghĩa thời gian âm vang tiêu chuẩn T_{60}

Qua nhiều kết quả thực nghiệm cho thấy: mức áp suất âm trung bình trên ngưỡng nghe 60 dB đảm bảo đủ nghe rõ, vì thế WC. Sabin xác định thời gian âm vang là thời gian cần thiết để mức áp suất âm của một tần số nào đó ở trạng thái ổn định tiêu chuẩn 60 dB giảm xuống đến khi không còn nghe thấy (0 dB), (hình 5 - 6), đường cong định nghĩa thời gian âm vang tiêu chuẩn (T_{60}).

Nếu: $E_{ôc}$ –năng lượng âm ở trạng thái ổn định tiêu chuẩn

E_0 – năng lượng âm khi không còn nghe thấy, theo định nghĩa thời gian âm vang T_{60}:

$$10.\lg\frac{E_{ôc}}{E_o} = 60 \text{ dB} \quad \text{hay} \quad \lg\frac{E_{ôc}}{E_o} = 6 \text{ dB}$$

Vậy: $$E_o = E_{ôc}.10^{-6}$$

Cho nên thời gian âm vang tiêu chuẩn, nói một cách khác, là thời gian cần thiết để năng lượng của một âm nào đó từ trạng thái ổn định tiêu chuẩn $E_{ôc}$ tắt dần còn bằng 10^{-6} $E_{ôc}$.

Như vậy khi năng lượng thay đổi 10^6 lần mức năng lượng (hay mức áp suất) thay đổi 60 dB.

Thời gian âm vang theo định nghĩa này gọi là thời gian âm vang tiêu chuẩn trong trường âm khuếch tán lý tưởng, mô tả bằng biểu đồ hình 5 - 6.

3. Thời gian âm vang tối ưu ($T^{tư}$)

Bằng nhiều thực nghiệm, Sabin chứng minh rằng: phòng mục đích sử dụng khác nhau, sức chứa khác nhau, tốc độ tắt dần trung bình tối ưu của năng lượng âm tương ứng với thời gian âm vang tối ưu.

Thời gian âm vang tối ưu xác định trên cơ sở so sánh giá trị tiêu chuẩn kết hợp với sự đánh giá chủ quan của nhiều người đối với chất lượng âm trong phòng.

Thời gian âm vang tối ưu bao gồm hai phần tương ứng với 2 giai đoạn:

- **Giai đoạn đầu**, thời gian kể từ lúc nguồn âm ngừng bức xạ đến lúc kết thúc giai đoạn tăng mức to của âm, làm phong phú âm cần nghe.

- **Giai đoạn hai**, thời gian tiếp theo, diễn ra chậm hơn cho đến lúc kết thúc quá trình âm, phần này không có lợi hoặc có hại hoàn toàn nếu như mức âm của nó bằng mức âm trực tiếp.

Nếu thời gian âm vang lớn hơn giá trị tối ưu, âm vang của phần thứ hai quá lớn gây trở ngại cho việc nghe âm, làm giảm độ rõ. Nếu thời gian âm vang quá ngắn so với giá trị tối ưu, mức âm ở phần đầu của quá trình rất yếu, âm nghe khô và cộc. Bảo đảm được thời gian âm

vang tối ưu sẽ có được trường âm tốt nhất, phát huy được âm phản xạ đầu tiên, giảm được âm phản xạ vô ích.

Thời gian âm vang tối ưu phụ thuộc mục đích sử dụng, thể tích phòng, và tần số của sóng âm.

Từ kết quả suy cứu tỷ mỉ quan hệ hàm số thực nghiệm giữa $T_{500}^{tư}$ với thể tích phòng (**V.m³**), V.O. Knudsen và Harris thành lập biểu đồ rất nổi tiếng (hình 5 - 7).

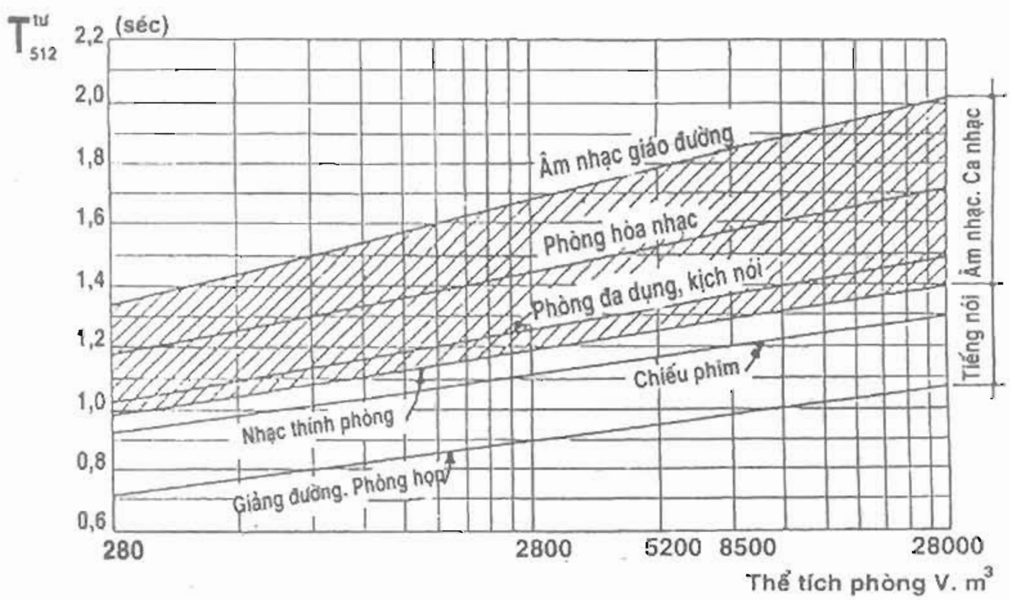
Có thể sử dụng công thức kinh nghiệm của I.I. Clavin để xác định thời gian âm vang tối ưu của tần số 512 Hz ($T_{512}^{tư}$):

$$T_{512}^{tư} = K.\lg V \quad \text{(giây)}$$

Trong đó: **V** – thể tích phòng (m^3)

K – hệ số mục đích sử dụng của phòng

- phòng biểu diễn ca nhạc, **K = 0,41**
- phòng kịch nói, **K = 0,36**
- phòng yêu cầu độ rõ (giảng đường, phòng họp, rạp chiếu phim), **K = 0,29**



Hình 5 - 7. Biểu đồ quan hệ giữa V phòng với thời gian âm vang tối ưu $T_{512}^{tư}$

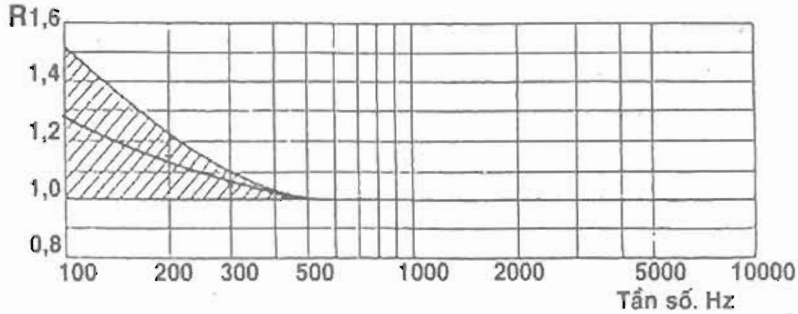
Thời gian âm vang tối ưu của tần số khác $T_f^{tư}$ xác định bằng công thức:

$$T_f^{tư} = R.\,T_{500}^{tư} \quad \text{(giây)}$$

Trong đó: R – hệ số hiệu chỉnh xác định theo biểu đồ hình 5 - 8.

Đối với tần số $f \geq 500$ Hz, R = 1, những tần số $f < 500$ Hz, giá trị của R lấy trong phạm vi gạch chéo.

Phòng yêu cầu độ rõ chỉ tiêu thể tích phòng bé, giá trị của R lấy trong nửa chéo dưới. Các phòng chỉ tiêu thể tích lớn, thời gian âm vang dài, yêu cầu độ phong phú cao, giá trị của R lấy trong nửa chéo trên.



Hình 5 - 8. Hệ số R điều chỉnh thời gian âm vang tối ưu theo tần số

Giá trị của R biến động, nhưng chỉ biến động trong phạm vi gạch chéo, không nên vượt ra ngoài phạm vi này.

Đối với phòng hòa nhạc, ca kịch, nhạc kịch dân tộc cũng có tính chất khác nhau, trong phòng ca nhạc, ca kịch, thời gian âm vang của tần số thấp không nên dài hơn nhiều so với tần số trung và cao như trong phòng hòa nhạc, vì rằng âm vang của tần số thấp hỗ trợ cho âm nhạc nhiều hơn cho diễn viên, làm giảm độ rõ của tiếng hát.

Chẳng hạn, phòng biểu diễn ca nhạc có thể lấy R như bảng 5 - 1.

Bảng 5 - 1. Quan hệ giữa f và R

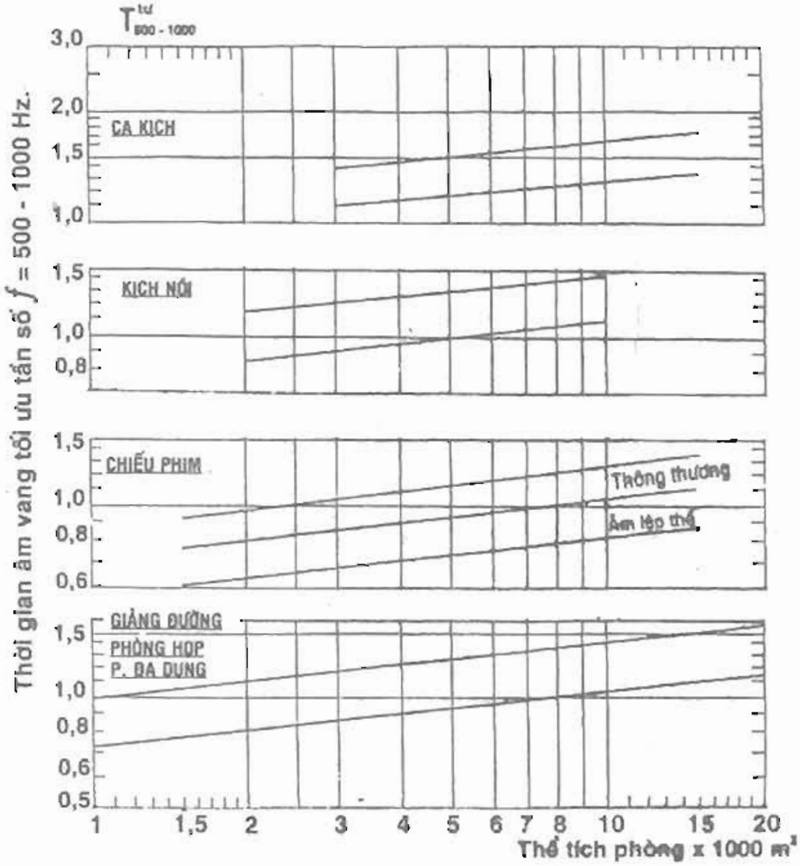
f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
R	1,4	1,1	1	1	1	1

Đối với phòng yêu cầu độ rõ, âm vang của tần số thấp không có tác dụng hỗ trợ mà còn che lấp, làm giảm độ rõ của tiếng nói. Vì thế, trong những phòng này, yêu cầu thời gian âm vang của các tần số như nhau, tức là đặc tính tần số của thời gian âm vang bằng phẳng.

Thực tế, như chúng ta đã biết, $T^{tư}$ trong phòng do đánh giá chủ quan của thính giả, tính toán chỉ là một căn cứ thiết kế, rất khó chính xác. Thông thường tham khảo những phòng khán giả đã sử dụng và được mọi người công nhận tốt làm cơ sở đối chiếu với kết quả tính toán thiết kế.

Thời gian âm vang tối ưu dao động trong giới hạn nhất định, không nên vượt khỏi giới hạn này, có thể tham khảo biểu đồ hình 5 - 9.

Giới hạn dao động của $T^{tư}$ theo thể tích phòng **V** (m^3).



Hình 5 - 9. Thời gian âm vang tối ưu của các tần số f < 500 và f > 1000 Hz

Thời gian âm vang trong hình 5 - 9 cần nhân thêm với hệ số hiệu chỉnh **R** cho trong bảng 5 - 2.

Bảng 5 - 2. Hệ số hiệu chỉnh R

Tần số (Hz)	Ca kịch	Kịch nói	Chiếu phim	Giảng đường, phòng họp, phòng đa dụng
125	1,00 ~ 1,30	1,00 ~ 1,10	1,10 ~ 1,20	1,00 ~ 1,20
250	1,00 ~ 1,15	1,00 ~ 1,10	1,10 ~ 1,10	1,00 ~ 1,10
2000	0,90 ~ 1,00	0,90 ~ 1,00	0,90 ~ 1,00	0,90 ~ 1,00
4000	0,80 ~ 0,90	0,80 ~ 0,90	0,80 ~ 1,00	0,80 ~ 1,00

4. Đặc tính chung của thời gian âm vang

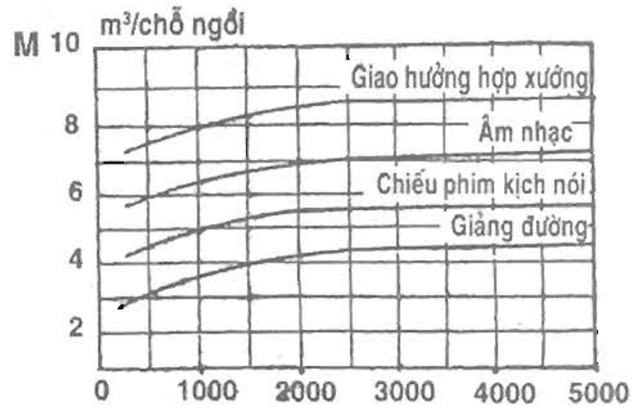
a) Thời gian âm vang phụ thuộc tần số

Khả năng hút âm của vật liệu và không khí không giống nhau đối với các loại tần số, do đó âm tần số khác nhau, tốc độ tắt dần khác nhau, kết quả thời gian âm vang của các tần số dài ngắn không giống nhau.

Sự phụ thuộc của thời gian âm vang vào tần số như vậy gọi là "đặc tính tần số của thời gian âm vang"

Nếu trong phòng, thời gian âm vang của một số tần số nào đó đặc biệt dài còn những tần số khác lại quá ngắn gọi là thời gian âm vang có đặc tính tần số xấu. Khi đó, trong phòng sẽ có những âm của một số tần số nào đó mạnh lên, còn âm của những tần số khác sẽ yếu đi, kết quả âm nghe bị méo, mất thật. Trong một số phòng lớn, thường do âm vang của những tần số thấp quá dài, làm cho âm nghe trầm, buồn chất lượng âm xấu. Vì vậy thời gian âm vang có đặc tính tần số tốt cũng là một điều kiện quan trọng bảo đảm chất lượng âm trong phòng tốt.

Trong đường đồng mức to của thính giác, độ nhạy của tai người không giống nhau đối với âm có tần số khác nhau, cho nên thời gian âm vang có đặc tính tần số tốt là thời gian để cho âm của mọi tần số tắt dần tới ngưỡng nghe xấp xỉ bằng nhau, tương ứng với độ nhạy của tai người. Âm tần số thấp tai người kém nhạy so với âm tần số trung và cao, thời gian âm vang nên dài hơn một ít so với âm tần số trung và cao.



Hình 5 - 10. Quan hệ giữa sức chứa N, M (m^3/chỗ ngồi) theo $T^{tư}$

b) Thời gian âm vang phụ thuộc vào thể tích phòng

Trong những phòng có cùng lượng hút âm $A = S.\ \overline{\alpha}$ như nhau, phòng nào thể tích lớn hơn thời gian âm vang dài hơn, nguyên nhân do phòng thể tích lớn, quãng đường âm phản xạ dài, số lần phản xạ trong đơn vị thời gian ít hơn, năng lượng âm tắt dần lâu hơn, thời gian âm vang dài hơn. Khi thể tích phòng quá lớn, quãng đường phản xạ quá dài, tác dụng hút âm của không khí tăng lên làm cho năng lượng âm tắt dần nhanh hơn. Nói thể tích phòng lớn hay nhỏ tương đối so với sức chứa, tức là chỉ tiêu thể tích M (m^3/chỗ ngồi), chọn lớn hoặc nhỏ.

Khi thiết kế phòng khán giả, căn cứ vào mục đích sử dụng, yêu cầu nghe nhìn, đồng thời xét yêu cầu kinh tế, mỹ quan, lựa chọn chỉ tiêu thể tích chỗ ngồi phù hợp. Thể tích phòng hợp lý không những giảm được giá thành mà còn có lợi về chất lượng âm.

Khi chọn thể tích phòng có thể tham khảo chỉ tiêu thể tích chỗ ngồi (m^3/chỗ ngồi) trong biểu đồ hình 5 - 10.

Khi sức chứa tương đối lớn so với thể tích, chỉ riêng sự hấp thu của khán giả cũng rất lớn, làm cho thời gian âm vang không đủ yêu cầu .

c) Thời gian âm vang và chất lượng âm

Trong những phòng thời gian âm vang quá dài, âm nghe rất vang nhưng không xác thực, âm vang của âm trước che lấp âm sau làm giảm độ rõ. Ngược lại nếu âm vang quá ngắn, diễn viên, diễn giả sẽ cảm thấy nhọc sức, âm nghe không đủ to, chất lượng âm khô và điếc.

Phòng có thời gian âm vang thích hợp, bao gồm thời gian âm vang tối ưu và đặc tính tần số tốt, khi đó âm vang có tác dụng tăng cường cho âm trực tiếp, hỗ trợ tiếng nói của diễn viên, âm nghe đầy đặn, trơn tru, rõ ràng, người biểu diễn không nhọc sức, cảm thấy toàn bộ không gian trong phòng đều hỗ trợ mình.

Vì vậy thời gian âm vang thích hợp là điều kiện có tính chất quyết định chất lượng âm trong phòng, âm trực tiếp được bổ sung đầy đủ, âm nghe to, rõ và hài hòa.

5. Phương trình âm vang của Sabin và Ering

a) Phương trình âm vang của W.C.Sabin

W.C.Sabin căn cứ vào những giả thiết sau đây để thành lập phương trình âm vang:

- Trong phòng, âm thanh phát ra khi đã đạt tới trạng thái ổn định, năng lượng âm ở mọi điểm trong phòng đều như nhau, trường âm khuếch tán hoàn toàn.

- Sau khi nguồn âm ngừng bức xạ, năng lượng âm tắt dần đều đặn, nghĩa là các bề mặt trong phòng hấp thu năng lượng âm một cách liên tục, khi đó theo định luật bảo toàn năng lượng:

Năng lượng âm tăng lên trong phòng bằng hiệu giữa năng lượng âm do nguồn bức xạ với năng lượng âm bị hấp thu trong đơn vị thời gian.

Trên cơ sở giả thiết như vậy, Sabin thừa nhận phương trình tắt dần như chứng minh trong phần trước:

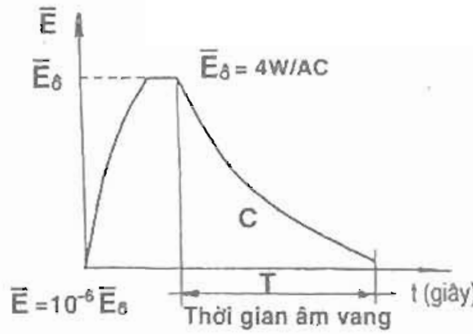
$$\bar{E} = \bar{E}_0 . e^{-\frac{CA}{4V}.t}$$

Đồ thị của phương trình như hình 5 - 11.

Theo định nghĩa thời gian âm vang tiêu chuẩn, thay **t** = **T** tiêu chuẩn (T_{60}).

Thay giá trị vận tốc âm trong không khí **C** = 340m/s.

$$T_{60} = 0,161\frac{V}{A} = 0,161.\frac{V}{S\bar{\alpha}}, \quad (s)$$



Hình 5 - 11

Trong đó: **V** – thể tích phòng (m^3)

$\bar{\alpha}$ - hệ số hút âm trung bình của phòng

S – tổng diện tích các bề mặt trong phòng (m^2)

Nếu kể tới tác dụng hút âm của không khí :

$$T_{60} = \frac{0,161V}{S\bar{\alpha} + 4.mV}, \quad (s)$$

Trong đó: **m** – hệ số hút âm của không khí (hình 4 - 14).

Đây là phương trình âm vang của Sabin.

Như vậy, phương trình âm vang của Sabin thành lập trên cơ sở của trường âm lý tưởng, tức là trường âm khuếch tán hoàn toàn, sự hấp thu năng lượng âm liên tục, quá trình âm tắt dần đều đặn. Muốn vậy quá trình tắt dần phải chậm, giá trị $\bar{\alpha}$ đủ bé để năng lượng âm có thời gian phân bố đều trong phòng.

Khi hệ số $\bar{\alpha} \leq$ **0,20** và trong trường âm khuếch tán hoàn toàn, phương trình âm vang của Sabin mới có kết quả đúng với thực tế. Nếu giá trị $\bar{\alpha}$ xấp xỉ bằng đơn vị, tức là năng lượng âm bị hấp thu hoàn toàn, khi đó trong phòng không có âm vang, nhưng phương trình âm vang của Sabin cho kết quả khác không. Như vậy phương trình T_{60} của Sabin không phù hợp với phòng có hệ số hút âm lớn. Tình hình đó, thúc đẩy Ering xét lại phương pháp giải quyết bài toán xác định năng lượng âm của một quá trình âm ở trong phòng, trên cơ đó thiết lập phương trình thời gian âm vang với hệ số hút âm bất kỳ trong phòng.

b) Phương trình âm vang của Ering

Trên cơ sở những giả thiết của Sabin nhưng Ering cho rằng sự hấp thu năng lượng âm trong quá trình tăng dần và tắt dần, như đã biết, khi thăng khi giáng tương tự như hình bậc thang, mỗi bậc thang xác định bằng thời gian trung bình giữa hai lần phản xạ liên tiếp. Toàn bộ quá trình như (hình 5 - 12).

Theo ý nghĩa đó, Ering thành lập phương trình tắt dần của năng lượng âm, có dạng:

$$\bar{E} = \bar{E}_{ô}.e^{\frac{CS.\ln(1-\bar{\alpha})}{4V}.t}$$

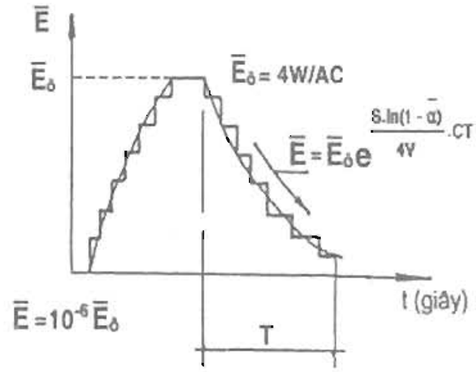
Theo định nghĩa thời gian âm vang tiêu chuẩn, và thay:

lge = 0,43, C = 340m/s, T = T_{60}:

$$T_{60} = \frac{0{,}161.V}{-S.\ln(1-\bar{\alpha})} = \frac{0{,}161.V}{S.\ln(\frac{1}{1-\bar{\alpha}})}.(\text{giây})$$

Nếu kể tới tác dụng hút âm của không khí:

$$T_{60} = \frac{0{,}161.V}{-S.\ln(1-\bar{\alpha}) + 4mV}\ (\text{giây})$$



Hình 5 - 12

Đây là phương trình âm vang của Ering, phương trình này cho kết quả tương đối đúng với giá trị $\bar{\alpha}$ bất kỳ.

Hệ số **0,161** trong hai phương trình T_{60} của Sabin và Ering, theo thực nghiệm của Ering và nhiều người, hệ số này phụ thuộc hình dáng phòng, kiến nghị như sau:

- Phòng hình trụ chiều cao bằng đường kính → lấy giá trị **0,1706**

- Phòng hình hộp (mặt bằng chữ nhật hoặc vuông) → lấy giá trị **0,164**

- Phòng lập phương (cao, dài, rộng xấp xỉ nhau) → lấy giá trị **0,1625**

Khi sử dụng phương trình âm vang của Sabin hay Ering nên chú ý những vấn đề sau đây:

- Nắm vững những giả thiết của Sabin và Ering trong quá trình thiết lập phương trình âm vang để có giải pháp thích hợp khi thiết kế, tránh những sai sót do những điều kiện giới hạn của phương trình âm vang gây ra.

- Vì hệ số hút âm trung bình $\bar{\alpha}$ = **($A_{cđ}$ + A_{td})/S** cho nên khi thiết kế hoặc lựa chọn ghế sao cho số đơn vị hút âm của ghế độc lập tương đương với số đơn vị hút âm của người ngồi trên ghế, để lượng hút âm thay đổi (**A_{td}**) ít biến động khi số người có mặt thay đổi.

- Trong tính toán thực tế, giá trị của thể tích **V** (m^3) chỉ chính xác tới hai số lẻ, thời gian âm vang **T** (giây) chỉ cần đến hai số lẻ, do đó đối với hầu hết các phòng chỉ cần lấy hệ số **0,16** là đạt yêu cầu.

- Để tính được thời gian âm vang đối với tất cả các tần số phải xác định giá trị hệ số hút âm α của vật liệu ở các tần số khác nhau và thay vào phương trình âm vang. Thông thường

chỉ xác định giá trị α của vật liệu với sáu tần số: 125; 250; 500; 1000; 2000 và 4000 Hz. Trường hợp đơn giản, chỉ cần xác định thời gian âm vang tương ứng với giá trị α của ba tần số: 125; 500 và 2000 Hz.

- Khi xét tới tác dụng hút âm của không khí, chỉ xét đối với tần số $f \geq$ **2000 Hz**, còn đối với những tần số $f <$ **2000 Hz** có thể bỏ qua vì ở những tần số này, tác dụng hút âm của không khí rất bé.

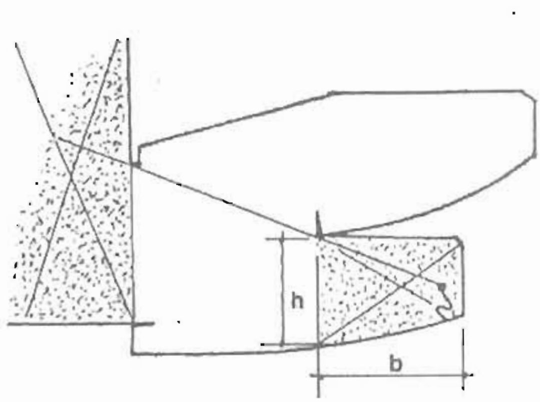
Âm tần số càng cao, tác dụng hút âm của không khí càng tăng, tác dụng này chủ yếu do tính nhớt của không khí.

- Khi hệ số hút âm của $\overline{\alpha}$ khá bé ($\overline{\alpha} < 0,2$): $-\ln(1-\overline{\alpha}) \approx \overline{\alpha}$

Khi đó phương trình âm vang của Ering và Sabin giống nhau. Như đã chứng minh, phương trình âm vang Sabin sử dụng khi giá trị của hệ số hút âm nhỏ ($\overline{\alpha} < 0,2$), còn phương trình Ering sử dụng với $\overline{\alpha}$ bất kỳ.

Trường hợp phòng có không gian ngẫu hợp, thời gian âm vang trong những phòng này có nhiều đặc điểm đáng chú ý.

Không gian ngẫu hợp là những không gian thông suốt với nhau nhưng độ lớn khác nhau và nối với nhau bằng một diện mở lớn, chẳng hạn như phòng khán giả và sân khấu, phòng khán giả và không gian dưới ban công (hình 5 - 13).



Hình 5 - 13. Không gian ngẫu hợp b x h, sân khấu và phòng khán giả lớn

Trong không gian ngẫu hợp, do thể tích, vật liệu của các không gian không giống nhau nên năng lượng âm tắt dần nhanh chậm khác nhau, do đó thời gian âm vang dài ngắn khác nhau. Vì vậy khi tính thời gian âm vang phải tính theo từng không gian riêng biệt, coi diện nối giữa chúng là một bề mặt hút âm hay phản xạ âm thay cho ảnh hưởng qua lại giữa chúng. Sự ngẫu hợp giữa phòng khán giả với sân khấu, khi tính thời gian âm vang trong phòng khán giả, lấy số đơn vị hút âm của miệng sân khấu thay thế sự tồn tại của sân khấu.

Sự ngẫu hợp giữa không gian chính của phòng khán giả với không gian dưới ban công quyết định theo điều kiện cụ thể:

- Khi **b > 2h**: tính theo hai không gian riêng biệt và lấy số đơn vị hút âm của miệng ban công thay cho sự tồn tại giữa chúng.

- Khi **b** ≤ **2h** và khi lượng hút âm của không gian dưới ban công bé có thể tính như một không gian (không có không gian ngẫu hợp).

6. Tính chính xác của phương trình âm vang Sabin và Ering

Để thiết lập phương trình âm vang, Sabin và Ering đều xuất phát từ trường âm lý tưởng, do đó phương trình âm vang của Sabin và Ering chỉ phản ánh gần đúng tình hình thực tế, nhiều trường hợp, thậm chí có thể mất cả ý nghĩa.

Nguyên nhân dẫn tới sai sót: do thiết lập phương trình âm vang dựa trên định luật về sự truyền thẳng của tia âm thay cho sóng âm để đơn giản hóa quá trình thực tế, trong những phòng kích thước nhỏ hơn chiều dài bước sóng của sóng âm sẽ cản trở sự lan truyền sóng, khi đó âm hình học cho kết quả không chính xác, sau nữa, do những giả thiết không sát hợp với thực tế, những số liệu thay vào công thức không chính xác.

a) Những giả thiết không sát hợp thực tế

Nguyên nhân này có ba trường hợp:

- Hình dáng phòng không phù hợp với giả thiết

Những phòng có cùng giá trị **V** (m^3), **S** (m^2) và $\overline{\alpha}$, nhưng những đại lượng này trong phương trình âm vang không phân biệt phòng cao thấp, rộng hẹp, dài hay vuông v.v... Phòng có hình dáng khác nhau, quãng đường lan truyền âm trên các hướng dài ngắn khác nhau, số lần phản xạ trong đơn vị thời gian trên các hướng khác nhau, tức là khuếch tán không đều, trên những khoảng cách ngắn, năng lượng âm tắt dần nhanh hơn trên những khoảng cách dài, hình thành hiện tượng tắt dần đặc biệt không như trường âm đã giả thiết.

- Sự hút âm trong phòng âm không đều

Tổng lượng hút âm trong phòng **A = S.** $\overline{\alpha}$, phương trình âm vang của Sabin và Ering chỉ cho biết tổng lượng hút âm nhiều hay ít, không phản ánh cách bố trí vật liệu hút âm trong phòng tập trung hay phân tán, vị trí vật liệu hút âm ở chỗ dễ hay khó tiếp xúc với sóng âm , vật liệu có hệ số hút âm lớn bố trí trên bề mặt diện tích nhỏ hay vật liệu có hệ số hút âm nhỏ bố trí trên bề mặt diện tích lớn v.v...

Thực tế, nếu bố trí vật liệu có khả năng hút âm nhỏ trên diện tích lớn dễ tạo được trường âm đều hơn trường hợp bố trí vật liệu hút âm có khả năng hút âm lớn trên diện tích nhỏ. Vật liệu hút âm tập trung trên một bề mặt cũng gây nên hiện tượng trường âm không đều trên các hướng.

- Trường âm thực tế không phù hợp với trường âm lý tưởng

Trường âm lý tưởng trong đó năng lượng âm khuếch tán hoàn toàn, mọi điểm trong phòng đều nhận được năng lượng âm trực tiếp và phản xạ như nhau, do đó ở mọi điểm trong phòng âm vang dài ngắn xấp xỉ bằng nhau.

Thực tế, trường âm trong phòng phân bố không đều, tỷ lệ giữa năng lượng âm trực tiếp và năng lượng âm phản xạ tới các điểm trong phòng không đồng đều, nhất là phòng thể tích lớn.

b) Những số liệu thay vào công thức không chính xác

Hệ số hút âm của vật liệu thay vào công thức cũng có sai số. Hệ số hút âm α của vật liêu có được từ thực nghiệm. Điều kiện thực nghiệm không giống điều kiện thực tế sử dụng, do đó hê số hút âm cũng có sai số, tuy đã tính ± 10% trong thời gian âm vang. Vì vậy trong quá trình thi công phải theo dõi, tổ chức đo đạc để thiết kế điều chỉnh những thiếu sót do hệ số hút âm không chính xác gây ra.

Những điều kiện cơ bản để tạo trường âm khuếch tán trong phòng

Hình dáng phòng không đối xứng, không quy tắc, tránh hình thành những cặp bề mặt song song nhau, dài ngắn chênh lệch quá nhiều, tạo nên những nhóm sóng đứng khác biệt quá lớn. Vật liệu hút âm bố trí đều trên các hướng để năng lượng âm của các tần số tắt dần đều trong phòng.

Xét tới tính tắt dần không đều của sóng âm trên các hướng, xét tới khả năng của âm vật lý, khuynh hướng nói chung của trường âm trong phòng là tổng hợp những dao động đồng thời trên ba hướng chính của phòng (phòng hình hộp): hướng đứng, hướng ngang và hướng dọc. Tốc độ tắt dần của năng lượng âm trên ba hướng này có quan hệ với nhau, phụ thuộc vào lượng hút âm trung bình trên mỗi hướng và tồn tại độc lập với nhau.

Đối với phòng hình hộp, có ba cặp mặt song song, sóng âm dao động đồng thời giữa ba cặp mặt đối diện nhau. Lượng hút âm trung bình trên mỗi cặp mặt quy định tốc độ tắt dần của năng lượng âm trên hướng đó. Âm vang trong phòng là kết quả tổng hợp tốc độ tắt dần khác nhau của năng lượng âm trên các hướng, và mỗi hướng chiếm một tỷ lệ nhất định trong giá trị tổng hợp.

Dựa trên những nghiên cứu đó, năm 1959, D.Fitzroy lấy quãng đường tự do trung bình của phòng làm quãng đường tự do trung bình trên mỗi cặp mặt, đồng thời căn cứ vào định nghĩa thời gian âm vang, thành lập phương trình âm vang như sau:

$$T = \frac{L}{S}\left(\frac{0{,}161.V}{-S.\ln(1-\bar{\alpha}_L)}\right) + \frac{H}{S}\left(\frac{0{,}161.V}{-S.\ln(1-\bar{\alpha}_H)}\right) + \frac{B}{S}\left(\frac{0{,}161.V}{-S.\ln(1-\bar{\alpha}_B)}\right)$$

Trong đó: L – tổng diện tích các bề mặt trên hướng dọc (m^2) của phòng, tương ứng với hệ số hút âm trung bình $\overline{\alpha}_L$ trên hướng này.

H – tổng diện tích các bề mặt trên hướng thẳng đứng (m^2) của phòng, tương ứng với hệ số hút âm trung bình $\overline{\alpha}_H$ trên hướng này.

B – tổng diện tích các bề mặt trên hướng ngang (m^2) của phòng, tương ứng với hệ số hút âm trung bình $\overline{\alpha}_B$ trên hướng này.

Phương trình âm vang của D.Fitzroy cho kết quả khá đúng với thực tế nhưng tính toán cồng kềnh

Cho đến nay, trong ứng dụng thực tế vẫn phổ biến sử dụng phương trình âm vang của Sabin (khi $\overline{\alpha} \leq 0{,}2$) và phương trình âm vang của Ering (với hệ số hút âm bất kỳ). Khi thiết kế cố gắng kết hợp với những khái niệm của âm vật lý, nắm vững những sai sót do những giả thiết không sát thực tế của phương trình âm vang Sabin và Ering để chọn những giải pháp kiến trúc hợp lý. Đồng thời trong quá trình thi công thường xuyên theo dõi, tổ chức đo đạc kiểm tra để điều chỉnh kịp thời những sai sót do tính toán thiết kế gây ra.

Tính toán thời gian âm vang trong thiết kế chỉ là để xác định một phạm vi căn cứ, qua đó lựa chọn hình dáng phòng, xử lý vật liệu hút âm, dự đoán kết quả tương lai, chuẩn bị những phương pháp điều chỉnh trong quá trình thi công. Kết quả tính toán không phải là kết quả cuối cùng, đáng tin cậy tuyệt đối.

7. Thời gian âm vang tối ưu ($T^{tư}$) đối với tiếng nói

Khi biết thể tích **V** (m^3), thời gian âm vang của phòng và bằng một số phép đo lường đơn giản có thể xác định gần đúng chỉ tiêu độ rõ âm tiết **PA**:

$$PA = 96.K_S.K_l.K_r.K_n \quad (\%)$$

Các hệ số giảm độ rõ K_l, K_r, K_n do các nhân tố ảnh hưởng tới độ rõ tìm từ biểu đồ hình 5 - 14.

Từ biểu đồ giá trị K_l (hình 5 - 14a) cho thấy:

Độ rõ lớn nhất khi L_l **= 50 – 100dB, PA ≥ 95%**

Theo trên đây: $\overline{E}_ô = \dfrac{4W}{A.C}$

Mức cường độ âm ở trạng thái ổn định L_{IO}:

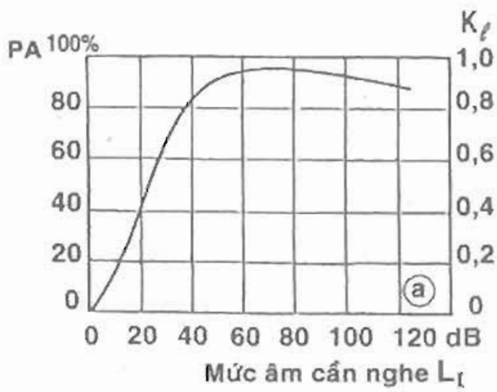
$$L_{IO} = 10.lg.\frac{\overline{E}_{ô}}{\overline{E}_{ô}} \quad (dB)$$

$\overline{E}_{ô}$ tỷ lệ nghịch với tổng lượng hút âm **A** của phòng, giảm **A** sẽ tăng $\overline{E}_{ô}$, có nghĩa là tăng thời gian âm vang **T** sẽ có lợi.

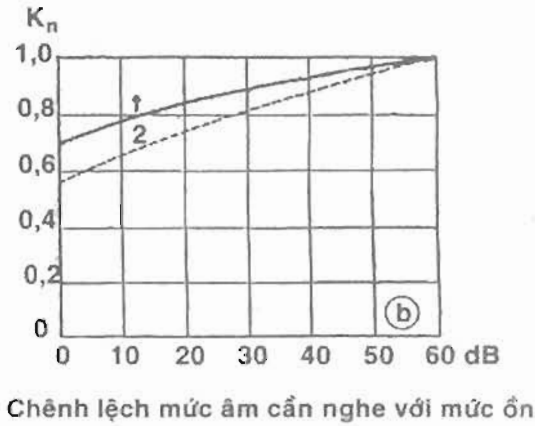
Trong phòng âm vang ngắn, khi mức âm < 70- 80 dB, tăng mức âm, tăng độ rõ, (hình 5 - 14 b,d). Ngược lại âm vang dài, che lấp nhiễu, độ rõ giảm.

Điều này ám chỉ sự tồn tại của $T^{tư}$ đối với độ rõ, (hình 5 - 14c).

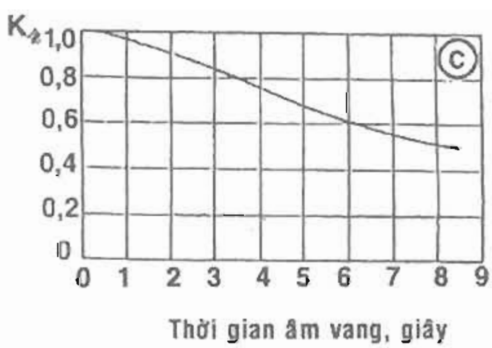
Từ biểu đồ quan hệ $K_{â}$ và **T** cho thấy âm vang càng dài độ rõ càng giảm, giá trị $K_{â}$ càng nhỏ (hình 5 - 14c).



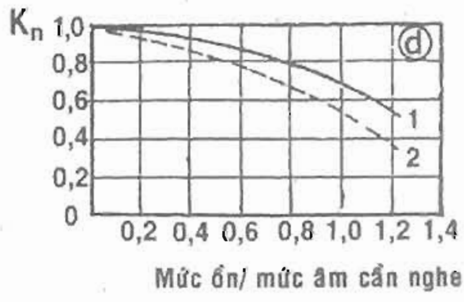
Biểu đồ quan hệ giữa PA, mức âm cần nghe và K_l



1) Diễn giả và thính giả cùng phòng
2) Diễn giả và thính giả khác phòng



Vern O. Knudsen: Hệ số $K_{â}$ với thời gian âm vang.



1) Diễn giả và người nghe cùng phòng
2) Diễn giả và người nghe khác phòng

Hình 5 - 14. Biểu đồ V.O. Knudsen Để xác định hệ số giảm độ rõ

Biểu đồ giá trị K_n cho thấy tác dụng của nền ồn đối với độ rõ. Tác dụng này biểu thị bằng tỷ số:

Mức ồn / mức âm cần nghe (hình 5 - 14d).

Hoặc chênh lệch mức âm cần nghe với mức ồn (hình 5 -14b).

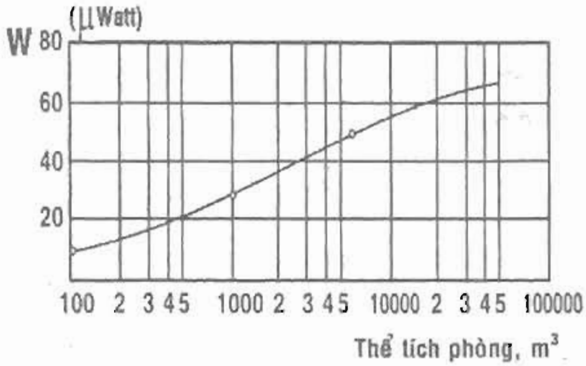
Công suất âm của tiếng nói (**W**) xác định từ mật độ năng lượng âm ở trạng thái ổn định:

$$\overline{E}_\delta = \frac{4W}{A.C} \rightarrow W = \frac{\overline{E}_\delta.AC}{4}$$

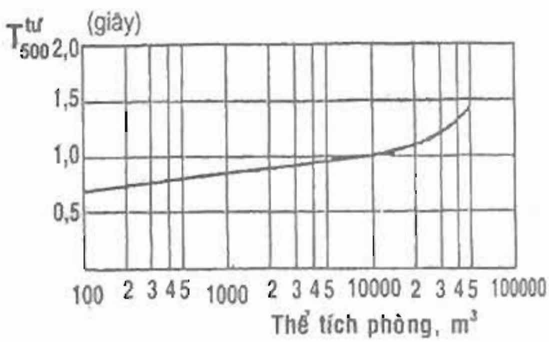
Tổng lượng hút âm (**A**) xác định theo phương trình **T** của Sabin hoặc Ering. Theo Sabin:

$$A = \frac{0{,}16V}{T_{60}}$$

Hình 5 - 15 là quan hệ giữa công suất âm với thể tích phòng cho thấy: phòng càng lớn, người nói càng nói lớn hơn. (V.O. Knudsen).



Hình 5 - 15. Công suất tiếng nói với thể tích phòng V (m^3)



Hình 5 - 16. Thời gian âm vang tối ưu với thể tích phòng nói chuyện V (m^3)

Hình 5 - 16 mô tả quan hệ giữa $T^{tư}$ của tiếng nói với thể tích phòng **V**(m^3) không có hệ thống tăng âm;

- **V** < 10.000m^3, $T_{500}^{tư}$ xấp xỉ < 1 giây
- **V** > 10.000m^3, $T_{500}^{tư}$ xấp xỉ > 1 giây
- Thời gian âm vang $T_{500}^{tư}$ = 0,8 giây tương ứng với tỷ số :

$$\frac{\textbf{Số đơn vị hút âm } (m^2)}{\textbf{Thể tích phòng } (V.m^3)} = \frac{1}{5}$$

- Khi phòng có hệ thống tăng âm, mức âm tăng lên không ảnh hưởng tới thời gian âm vang do đó dù thời gian âm vang ngắn cũng có thể tăng mức âm, trường hợp này quyết định giá trị của thời gian âm vang tuỳ thuộc vào sự phân bố năng lượng âm trong phòng..

- Thời gian âm vang có tác dụng tăng mức âm trong phòng luôn luôn giới hạn trong phạm vi nhất định. Thông thường, thời gian âm vang mãn nguyện trong các phòng nhỏ khoảng 0,5 giây, các phòng lớn 0,8 - 0,9 giây.

- Các phòng yêu cầu độ rõ cao đối với tiếng nói, luôn luôn đi theo chỉ tiêu thể tích chỗ ngồi ($M.m^3$/chỗ ngồi) tốt nhất, nên chọn chỉ tiêu thấp, đủ đảm bảo cảm giác thoải mái, thường trong khoảng:

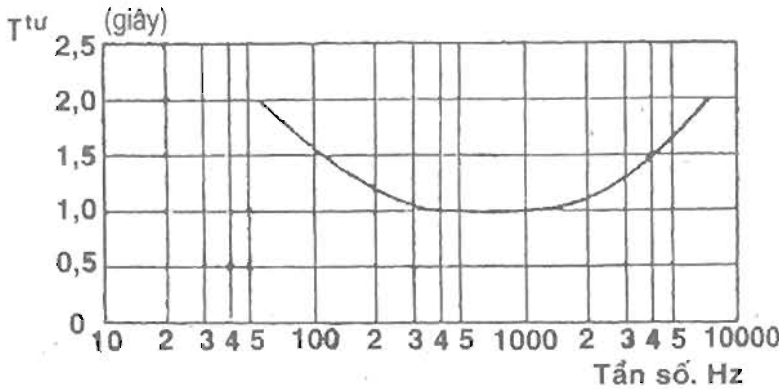
$$M = 4 \div 5 \ m^3 \text{/chỗ ngồi}$$

- Giảm chỉ tiêu thể tích chỗ ngồi (M) sẽ giảm tổng lượng hút âm yêu cầu của phòng. Thiết kế phòng tốt, lượng hút âm trang âm không phải để rút ngắn thời gian âm vang mà để khắc phục hiện tượng hồi âm.

- Tổng lượng hút âm trong phòng không phụ thuộc vào số lượng thính giả có mặt, yêu cầu này phụ thuộc vào chất lượng ghế ngồi.

- Khi xét thời gian âm vang chỉ xét $T_{500}^{tư}$, thực tế thời gian âm vang tối ưu của các tần số khác cũng rất có ý nghĩa đối với độ rõ (hình 5 - 17).

Kinh nghiệm cho thấy: áp dụng kết quả này trong thiết kế, chất lượng âm rất tốt.



Hình 5 - 17. Quan hệ lý thuyết giữa $T^{tư}$ với tần số (V.O.Knudsen)

8. Thời gian âm vang tối ưu của phòng hòa nhạc

Phòng hòa nhạc chất lượng âm tốt bao hàm ý nghĩa âm du dương nghe êm tai, hoàn toàn chủ quan, khác với mức độ hiểu được đối với tiếng nói. Cách đánh giá chủ quan như vậy rất khó xây

dựng quy luật quan hệ giữa $T_{500}^{tư}$ với thể tích phòng. Rõ ràng có quá nhiều yếu tố ảnh hưởng: Cách tổ chức đội nhạc, chủ đề âm nhạc của nhạc trưởng, kỹ năng hòa âm, kỹ xảo của nhạc công, khả năng lý giải âm nhạc của người nghe ... những điều kiện âm học truyền thống trong phòng ...

Sau đây, giới thiệu những quy luật chung của thời gian âm vang tốt nhất tổng hợp từ quan trắc, điều tra thực tế.

Hình 5 - 18a giới thiệu quan hệ giữa $T_{500}^{tư}$ với thể tích phòng, quan trắc trong một số phòng hòa nhạc nổi tiếng;

Hình 5 - 18b chuẩn hóa các giá trị quan trắc trên hình 5 - 18a $T_{500}^{tư}$ của phòng hòa nhạc dài hơn khá nhiều đối với tiếng nói.

Phạm vi gạch chéo thể hiện quan hệ hàm số của $T_{500}^{tư}$ với **V** (m^3) phòng hòa nhạc và biểu diễn.

Trong một thể tích xác định, $T_{500}^{tư}$ dao động trong phạm vi nhất định và khác nhau tuỳ thuộc thể loại âm nhạc.

Hình 5 - 18b ghi giá trị tối ưu đối với một số âm nhạc. Đối với ca vũ nhạc cận đại, đơn ca, nhạc thính phòng cũng mong muốn $T_{500}^{tư}$ ngắn, để tránh âm vang làm mơ hồ tiết tấu và lời ca.

Biểu diễn âm nhạc, các nhạc công cần nghe âm của nhau để hòa âm, do đó cần thiết thời gian âm vang dài hơn đối với tiếng nói để nghe âm phản xạ.

1 – Michaelikirche

2 – Thomaskirche

3 – Eastman theatre (Mỹ)

4 – Philharmonie (Bá Linh)

5 – Festpielhans

6 – Konzerthaus (Urbana)

7 – Queens hall (Luân Đôn)

8 – Gewandhaus

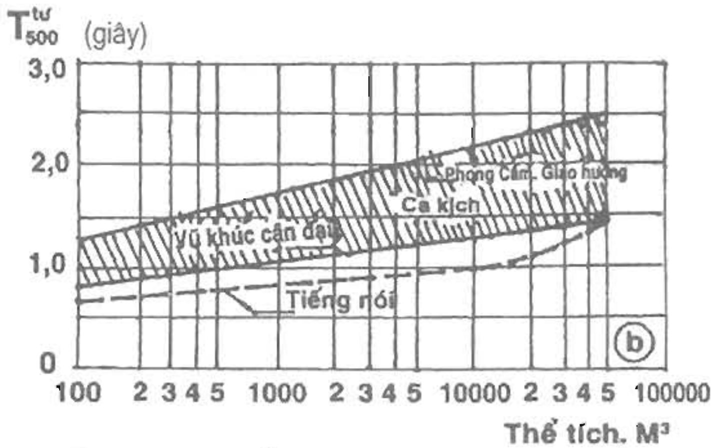
9 – Margaret church (Luân Đôn)

10 – Altes Gewandhaus

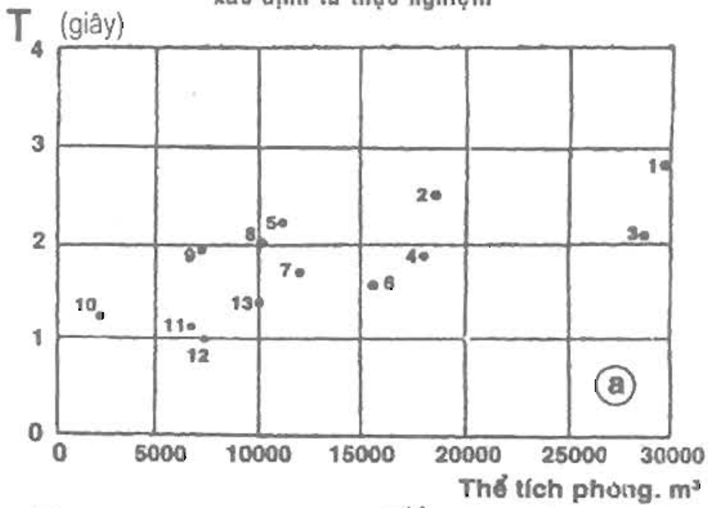
11 – Beethovensaal (Bá Linh)

12 – Staatsoper (Bá Linh)

13 – Conventgarden (Luân Đôn)

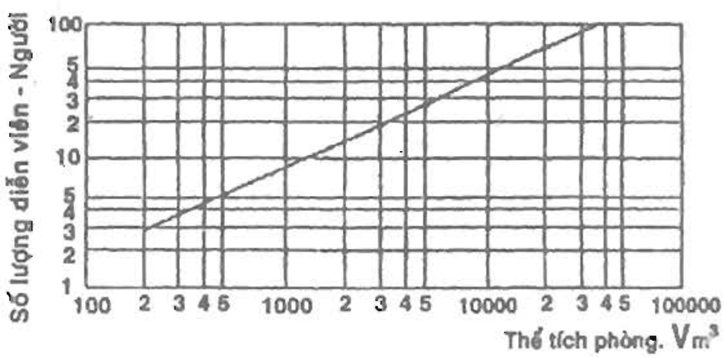


(b) Phạm vi $T_{500}^{tư}$ theo V phòng khác nhau xác định từ thực nghiệm



(a) Quan trắc quan hệ giữa $T_{500}^{tư}$ với V (m^3) của một số phòng hoà nhạc nổi tiếng

Hình 5 - 18



Hình 5 - 19. Số lượng diễn viên (nhạc công) với thể tích phòng

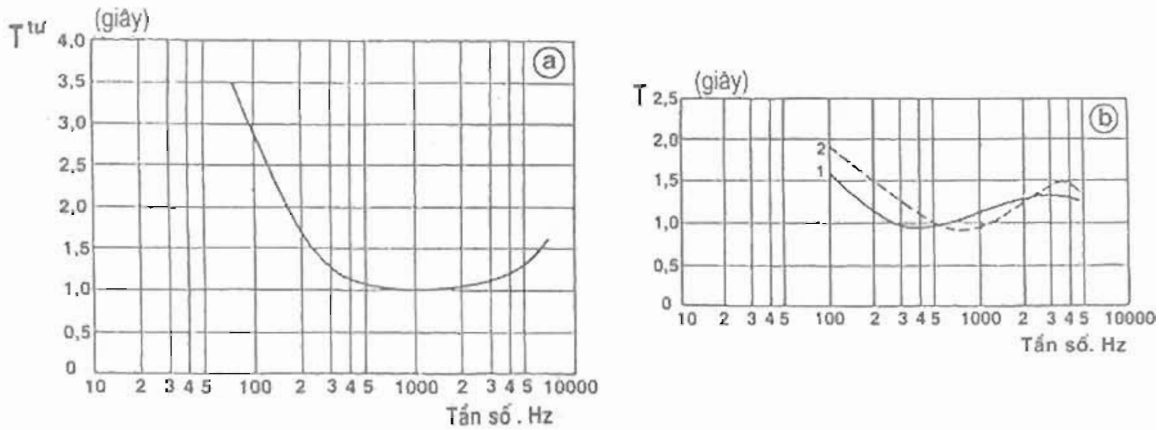
Chỉ tiêu thể tích chỗ ngồi **M** của phòng hòa nhạc, tốt nhất 6 - 8 m^3/người, nếu chọn **M** nhỏ hơn giá trị này, khó đạt được thời gian âm vang như trên.

Hình 5 - 19 biểu diễn mối quan hệ giữa số lượng người diễn tấu với thể tích phòng. Thông thường, số lượng người diễn tấu trong phòng phát thanh nhiều hơn trong phòng hòa nhạc rất nhiều, thậm chí gấp hơn 2 tới 3 lần mới hợp lý.

Một vấn đề quan trong cần lưu ý: *không để* $T_{500}^{tư}$ *phụ thuộc vào số lượng khán thính giả có mặt*, như vậy mới đảm bảo chất lượng âm lúc diễn tập và lúc biểu diễn không sai khác nhau. Nếu yêu cầu này không thỏa mãn, khi diễn tập nên phủ vải che toàn bộ ghế trống.

Tương tự như đối với tiếng nói, (hình 5 - 20a), V.O. Knudsen, thành lập đường cong lý thuyết quan hệ hàm số giữa tần số với thời gian âm vang cho âm nhạc, thời gian âm vang của tần số từ 500 – 2000 Hz gần như không phụ thuộc vào tần số, khi tần số nhỏ hơn 500Hz, thời gian âm vang dài hơn khá nhiều, với tần số lớn hơn 2000 Hz, thời gian âm vang tăng lên nhưng không đáng kể.

Hình 5 - 20b thể hiện kết quả thực nghiệm điều tra quan hệ hàm số giữa **T** và tần số, đường cong liền nét có dạng như đường cong $T^{tư}$ lý thuyết. Thực nghiệm thực hiện trong phòng phát thanh **V** = 1500m^3, thay đổi vị trí của vách để xác định quan hệ hàm số giữa **T** và tần số.



a) Đường cong lý thuyết quan hệ hàm số của $T^{tư}$ với tần số (V.O. Knudsen)

b) Quan hệ hàm số giữa T và tần số
1) $T^{tư}$ phụ thuộc tần số
2) T cho chất lượng âm xấu

Hình 5 - 20

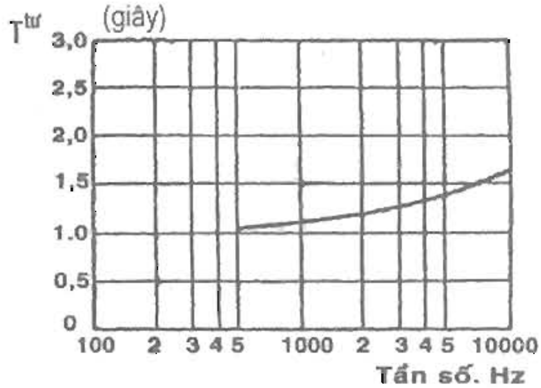
Đường cong hình 5 - 20b phù hợp với phòng phát thanh quy mô đội nhạc 20 – 30 người. Thời gian âm vang ngắn nhất ở tần số từ 300 – 500 Hz. Ở tần số thấp, 100 Hz tăng 70%, tần số cao, 3000 Hz tăng < 30%.

Kết quả thực nghiệm cho thấy, T ở tần số $f < 500$Hz, ảnh hưởng tới chất lượng âm không lớn lắm, nhưng trong phạm vi $f = 500 \div 2000$Hz, chỉ cần một thay đổi nhỏ T cũng ảnh hưởng rất rõ đối với chất lượng âm, với $f \geq 3000$ Hz, T giảm xuống vẫn bảo đảm chất lượng âm.

Trong phòng hòa nhạc, mức âm trung bình 70 – 80dB, lớn nhất tới 100 – 110dB, nhỏ nhất 40 – 50dB, hệ thống thông gió và các thiết bị gây ồn cần thiết giảm nhỏ đến 20 – 25dB. Phông ồn của thính giả trong phòng hòa nhạc nhỏ hơn trong phòng họp, nói chuyện.

Những phòng phát âm lại, rạp chiếu phim chẳng hạn, thời gian âm vang yêu cầu rất ngắn, không phá vỡ $T^{tư}$ lúc dựng phim. Thời gian âm vang trong rạp chiếu phim quyết định do độ đồng đều của trường âm trong khu vực khán giả.

Hình 5 - 21 thể hiện đường cong $T^{tư}$ trong rạp chiếu phim và các phòng phát âm lại, $T^{tư}$ trong các loại phòng này, tốt nhất nên rút ngắn 30% thời gian âm vang lúc ghi âm.



Hình 5 - 21. Quan hệ giữa $T^{tư}$ với tần số của rạp chiếu phim

9. Tính thời gian âm vang và thiết kế trang âm

Tính thời gian âm vang và thiết kế trang âm tiến hành theo trình tự sau đây:

a) Tính thời gian âm vang tối ưu ($T^{tư}$)

Thời gian âm vang tối ưu của tần số 500Hz có thể tìm từ biểu đồ hình 5 - 7 và hình 5 - 9 hoặc có thể xác định bằng công thức kinh nghiệm của Clavin:

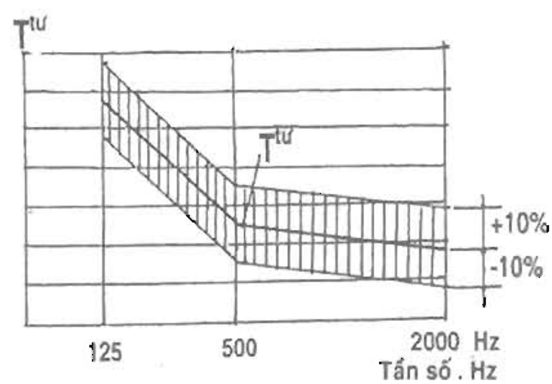
$$T_{500}^{tư} = K.\lg V \quad \text{(giây)}$$

Thời gian âm vang tối ưu của các tần số khác xác định thông qua thời gian âm vang tối ưu của tần số 500Hz.

$$T_f^{tư} = R.T_{500}^{tu}$$

Đối với những công trình thông thường hoặc thiết kế sơ bộ có thể tính thời gian âm vang tối ưu của ba tần số :

$$T_{125}^{tư}, \; T_{500}^{tư}, \; T_{2000}^{tư}$$



Hình 5 - 22. Đặc tính tần số của T^{tu} với dải bảo vệ ±10%

$T_{125}^{tư}$ - Đại diện cho âm tần số thấp

$T_{500}^{tư}$ - Đại diện cho âm trung tần

$T_{2000}^{tư}$ - Đại diện cho âm cao tần

Những công trình đặc biệt, yêu cầu chất lượng âm cao, tính sáu tần số: 125; 250; 1000; 2000 và 4000Hz. Khi thiết kế, nên tính mấy tần số tuỳ thuộc độ tin cậy đối với thiết kế. Từ kết quả tính toán, lập biểu đồ đặc tính tần số của thời gian âm vang tối ưu trong dải bảo vệ ± 10% (hình 5 - 22).

b) Tính lượng hút âm yêu cầu A

Tổng lượng hút âm A_f yêu cầu đối với các tần số tính toán:

$$A_f = A_{cđ} + A_{tđ}$$

Xác định nhờ phương trình của Ering và $T^{tư}$.

- Đối với tần số $f \leq 500$Hz:

$$T^{tư} = \frac{0,16.V}{-S.\ln(1-\overline{\alpha})}$$

- Đối với tần số $f \geq 2000$Hz:

$$T^{tư} = \frac{0,16.V}{-S.\ln(1-\overline{\alpha}) + 4mV}$$

Từ đó tính hệ số hút âm $\overline{\alpha}_f$ và tổng lượng hút âm A_f của các tần số tính toán:

$$A_f = S.\overline{\alpha}_f \text{ , } m^2 \text{ (hoặc Sabin)}$$

Lượng hút âm thay đổi phụ thuộc vào sự có mặt của khán giả, khán giả có mặt 50%, 70% hay 100%, giá trị của $A_{tđ}$ khác nhau. Muốn đảm bảo chất lượng âm ổn định, yêu cầu ghế có khả năng hút âm tương đương khả năng hút âm của người ngồi trên ghế, thực tế khó thực hiện được yêu cầu này.

Có thể thiết kế hoặc lựa chọn ghế phù hợp, từ đó xác định $A_{tđ}$ của các tần số tính toán

c) Xác định lượng hút âm thay đổi của các tần số ($A_{tđf}$)

Trước hết thiết kế hoặc chọn ghế, sau đó tính $A_{tđ}$ của tần tố 500Hz với bốn trường hợp có mặt của khán giả: 0% khán giả + 100% ghế trống; 50% khán giả + 50% ghế trống; 70% khán giả + 30% ghế trống; 100% khán giả + 0% ghế trống.

Đối với tần số 2000Hz và 125Hz chỉ tính với trường hợp 70% khán giả có mặt + 30% ghế trống và lập thành bảng (bảng 5 – 2 và 5 – 3).

Căn cứ vào giá trị A_{td} trong (bảng 5 – 3) để tính lượng hút âm cố định A_{cd}

Bảng 5 - 2. A_{td} của tần số 500 Hz

Đối tượng hút âm	Lượng hút âm đơn vị (m^2)	Số lượng người hay ghế	A_{td} của tần số 500Hz			
Người + ghế Ghế tự do			0% (+ 100% ghế trống)	50% (+ 50% ghế trống)	70% (+ 30% ghế trống)	100% (+ 0% ghế trống)
Tổng cộng						

Bảng 5 - 3. A_{td} của tần số 125Hz, 500 Hz, và 2000Hz với 70% khán giả có mặt (+ 30% ghế trống)

Đối tượng hút âm	Số lượng người hay ghế	A_{td} của tần số 125, 500 và 2000 Hz với 70% khán giả (+ 30% ghế trống)					
		125		500		2000	
		α	N.α	α	N.α	α	N.α
Người + ghế (70%) Ghế tự do (30%)	N_1 N_2						
Tổng cộng							

d) Tính lượng hút âm cố định (A_{cd})

Tính lượng hút âm cố định để chọn và bố trí vật liệu hút âm trong phòng. Lượng hút âm cố định của các tần số xác định với trường hợp 70% khán giả có mặt 30% ghế trống:

$$A_{cdf} = A_f - A_{tdf}$$

- Đối với tần số 125 Hz:

$$A_{cd.125} = A_{125} - A_{td.125}$$

- Đối với tần số 500 Hz:

$$A_{cd.500} = A_{500} - A_{td.500}$$

- Đối với tần số 2000 Hz:

$$A_{cd.2000} = A_{2000} - A_{td.2000}$$

Căn cứ vào giá trị A_{cd}, chọn và bố trí vật liệu hút âm, cho phép sai số ±10%. Kết quả lựa chọn vật liệu hút âm tổng hợp thành bảng 5 - 4.

Bảng 5 - 4. Chọn và bố trí vật liệu hút âm

Loại bề mặt	Vật liệu và kết cấu	Diện tích (m^2)	A_{cd}					
			125		500		2000	
			α	S.α	α	S.α	α	S.α
Trần phản xạ	Bê tông quét sơn	Thí dụ: 100	0,01	1	0,01	1	0,02	2
Tổng cộng				Σ.S.α		Σ.S.α		Σ.S.α

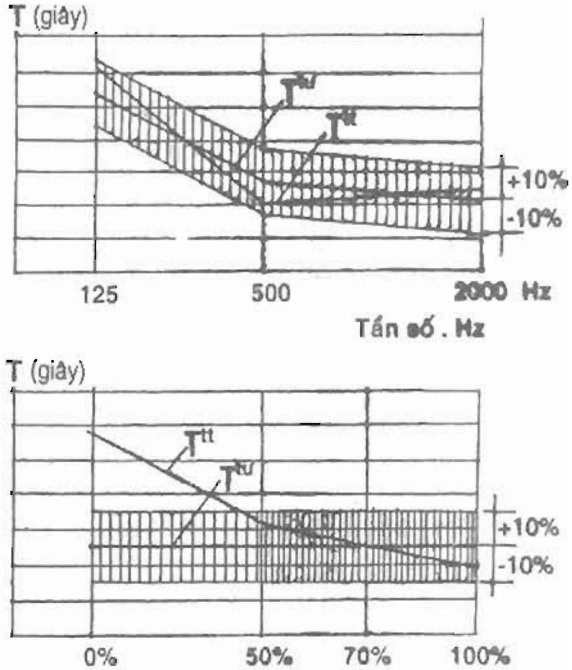
Thời gian âm vang tính toán trong trường hợp 70% khán giả có mặt phù hợp với thời gian âm vang tối ưu của các tần số tính toán. Đối với tần số 500Hz, thời gian âm vang tính toán khi 70% khán giả có mặt nằm trong dải bảo vệ của thời gian âm vang tối ưu (hình 5 - 23).

Hệ số hút âm trung bình $\overline{\alpha}$ xác định từ A_{cd} và A_{td} khi 70% khán giả có mặt:

$$\overline{\alpha} = \frac{A_{cd}^{70\%} + A_{td}^{70\%}}{S}$$

e) Lập bảng tổng hợp, kiểm tra sai số

- Kiểm tra thời gian âm vang tính toán sau khi đã trang âm theo thời gian âm vang tối ưu.



Hình 5 - 23

- Kết quả tính toán cuối cùng lập thành bảng tổng hợp (bảng 5 - 5).

Bảng 5 - 5. Bảng tính toán tổng hợp

Tần số Hz	125	500				2000
Số % khán giả có mặt	70%	0%	50%	70%	100%	70%
A_{td} (m^2)						
A_{cd} (m^2)						
$A = A_{td}$ (m^2) + A_{cd} (m^2)						
$\overline{\alpha} = A/S$						
$\ln(1 - \overline{\alpha})$						
$-S.\ln(1 - \overline{\alpha})$						
$-S.\ln(1 - \overline{\alpha}) + 4mV$						
Thời gian âm vang tính toán T_{tt}						
$T^{tư}$						
Sai số						

Thí dụ:

Tính tổng lượng hút âm, lựa chọn và bố trí vật liệu hút âm cho giảng đường, sức chứa **N** = 550 chỗ ngồi.

Cho biết:

- Thể tích phòng **V** = 3240 m^3 (**M** ≈ 5,9 m^3/người)

- Kích thước phòng: cao x rộng x dài = 9 x 15 x 24 (m^3)

- Tổng diện tích các bề mặt trong phòng **S** = 1389 m^2

Giải:

1. Tính thời gian âm vang tối ưu:

$$T_{500}^{tư} = K.\lg V = 0{,}29.\lg 3240 = 1{,}02 \text{ giây}$$

Giảng đường chủ yếu yêu cầu độ rõ, thời gian âm vang có đặc tính tần số bằng phẳng **R** = 1, do đó thời gian âm vang tối ưu của các tần số đều bằng nhau.

$$T_{500}^{tư} = T_{125}^{tư} = T_{2000}^{tư} = 1{,}02 \text{ giây}$$

2. Tính hệ số hút âm trung bình của các tần số ($\overline{\alpha}$)

Đối với tần số 125 và 500 Hz dùng công thức:

$$T = \frac{0,16.V}{-S.\ln(1-\overline{\alpha})} = \frac{0,16.3240}{-1389.\ln(1-\overline{\alpha})}$$

Thay giá trị $T^{tư}$ vào T và giải ra ta có:

$$\overline{\alpha}_{125} = \overline{\alpha}_{500} = 0,31$$

Đối với tần số 2000Hz dùng công thức:

$$T = \frac{0,16.V}{-S.\ln(1-\overline{\alpha})+4mV} = \frac{0,16\times 3240}{-1389.\ln(1-\overline{\alpha})+4\times 0,0025\times 3240}$$

Trong đó hệ số hút âm của không khí ở 20^0C và độ ẩm tương đối φ = 80%, **m** = 0,0025 (hình 4 - 14).

Thay giá trị $T^{tư}$ vào **T**, giải ra ta có hệ số hút âm trung bình của tần số 2000Hz bằng:

$$\overline{\alpha}_{2000} = 0,28$$

3. Tính tổng lượng hút âm trong phòng

- Đối với tần số 125 và 500 Hz:

$$A_{125} = S.\overline{\alpha}_{125} = 1389\times 0,31 = 435\,m^2$$

$$A_{500} = S.\overline{\alpha}_{500} = 1389\times 0,31 = 435\,m^2$$

- Đối với tần số 2000 Hz:

$$A_{2000} = S.\overline{\alpha}_{2000} = 1389\times 0,28 = 392\,m^2$$

4. Tính lượng hút âm thay đổi

Trong giảng đường sử dụng ghế dựa bằng gỗ dán. Từ phụ lục tìm giá trị α_f

Giá trị α_f

Đối tượng hút âm	Hệ số hút âm α_f		
	125 Hz	500 Hz	2000 Hz
Ghế dựa bằng gỗ dán	0,07	0,081	0,082
Học sinh ngồi trên ghế	0,2	0,31	0,41

Đối với tần số 500 Hz, xác định $A_{tđ}$ với bốn trường hợp có mặt của học sinh 0%, 50%, 70% và 100% tương ứng bằng 0, 225, 385 và 550 người.

Đối với tần số 125 Hz và 2000 Hz xác định $A_{tđ}$ khi 70% học sinh có mặt.

$A_{tđ}$ của tần số 500 Hz

Đối tượng hút âm **N**	α_{500}	$A_{tđ}^{500} = N.\bar{\alpha}_{500}$			
		0%	50%	70%	100%
Ghế dựa gỗ dán độc lập	0,081	48,6	24,2	14,5	0
Học sinh ngồi trên ghế	0,31	0	92,6	130	186
$T_{500}^{tư}$ tổng cộng		48,6	116,8	144,5	186

$A_{tđ}$ của tần số 125; 50; 2000 Hz khi 70% học sinh có mặt

Đối tượng hút âm **N**	Số lượng đối tượng **N**	125		500		2000	
		α	**N.α**	α	**N.α**	α	**N.α**
Ghế dựa bằng gỗ dán độc lập	165	0,07	12,6	0,081	14,5	0,082	14,8
Học sinh ngồi trên ghế	385	0,2	84	0,31	130	0,41	172,0
$A_{tđ}$ Tổng cộng		96,6		144,5		186,8	

5. Tính lượng hút âm cố định $A_{cđ}$ khi 70% học sinh có mặt

- Đối với tần số 125 Hz : $A_{cđ}^{125} = A_{125} - A_{tđ\,125} = 435 - 96,6 = 338,4m^2$

- Đối với tần số 500 Hz: $A_{cđ}^{500} = A_{500} - A_{tđ\,500} = 435 - 144,5 = 290,5m^2$

- Đối với tần số 2000 Hz: $A_{cđ}^{2000} = A_{2000} - A_{tđ\,2000} = 392 - 186,8 = 205,2m^2$

6. Chọn và bố trí vật liệu trang âm

Kết quả lựa chọn và bố trí vật liệu lập thành bảng tổng hợp.

Bảng tổng hợp kết quả lựa chọn và bố trí vật liệu

STT	Bề mặt	Vật liệu và kết cấu hút âm	Diện tích m^2	125 Hz		500 Hz		2000 Hz	
				α	**S.α**	α	**S.α**	α	**S.α**
1	Trần phía trước	Vữa vôi trên lưới trát chặt phản xạ âm	200	0,04	8	0,06	12	0,04	8
2	Trần phía sau	Gỗ ván 1cm đóng dưới sườn gỗ 5cm	240	0,3	72	0,2	48	0,1	24

STT	Bề mặt	Vật liệu và kết cấu hút âm	Diện tích m^2	125 Hz		500 Hz		2000 Hz	
				α	S.α	α	S.α	α	S.α
3	Tường phía trước	Gỗ dán 10mm đóng trên sườn gỗ 4cm	118	0,18	21,24	0,19	22,4	0,12	14,16
4	Tường bảo vệ	Trát vữa quét sơn phản xạ âm từ mặt nền đến cao độ 2,1m	66	0,01	0,66	0,02	1,32	0,02	1,32
5	Tường hai bên phía trên	Tấm nhôm dày 1mm đặt cách tường 10cm, xử lý khuếch tán âm phần tường bên trên tường bảo vệ	226	0,3	67,8	0,1	22,6	0,04	9
6	Tường sau bảng đen	Gỗ dán 1cm đóng trên sườn gỗ cách tường 5cm	93,1	0,3	27,93	0,2	18,8	0,1	9,3
7	Tường hậu	Tấm rơm ép đóng trên sườn gỗ cách tường 5cm	58,9	0,37	21,8	0,307	38,6	0,108	6,25
8	Sàn lối đi	Trải thảm cao su dày 5cm	120	0,04	4,8	0,08	9,6	0,03	3,6
9	Bục giảng	Trải thảm cao su dày 5cm	45,8	0,01	1,83	0,08	3,6	0,03	1,37
10	Cửa sổ	Mở hoàn toàn	140	0,9	12,5	0,9	125	0,9	125
11	Cửa đi	Cửa kính đóng kín	30,3	0,35	11,2	0,18	5,45	0,07	2,12
12	Cửa thông gió	Lỗ trống có song sắt	11,4	0,5	5,7	0,5	5,7	0,5	5,7
13	Lỗ đèn	Lỗ trống	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
		$A_{cđ}$ tổng hợp		**368,21**		**313,29**		**210,07**	

7. Kiểm tra sai số trang âm

a) Kiểm tra lượng hút âm cố định:

$$A_{cd}^{125} \rightarrow \frac{368,21 - 338,4}{338,4}.100 \approx 9\% < 10\%$$

$$A_{cd}^{500} \rightarrow \frac{313,29 - 290,5}{290,5}.100 \approx 8\% < 10\%$$

$$A_{cd}^{2000} \rightarrow \frac{210,07 - 205,2}{205,2}.100 \approx 3\% < 10\%$$

Sai số trong phạm vi cho phép, vật liệu và kết cấu hút âm bố trí như bảng trên, đạt yêu cầu về tổng lượng hút âm cần có trong phòng.

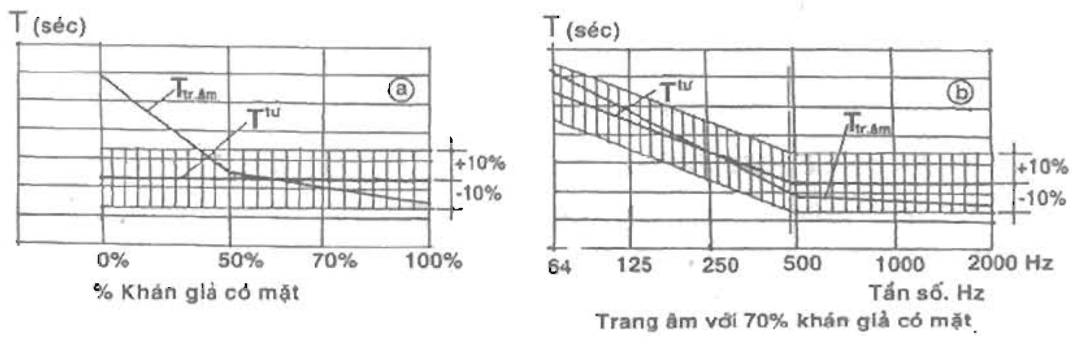
b) Kiểm tra tổng lượng hút âm yêu cầu:

$$A_f = A_{cdf} + A_{tdf} \pm 10\%$$

Độc giả tự kiểm tra

c) Kiểm tra thời gian âm vang trang âm và thời gian âm vang tối ưu tính toán của các tần số với dải bảo vệ ± 10% (hình 5 - 24)

Độc giả tự kiểm tra



Hình 5 - 24

III. ĐỘ RÕ

Độ rõ (**A**) chỉ mức độ nghe rõ và hiểu được của thính giả.

Mức độ nghe rõ và hiểu được đối với tiếng nói và âm nhạc phụ thuộc vào tỷ số hai năng lượng âm người nghe nhận được, gọi là hệ số độ rõ K_P:

$$K_P = \frac{\text{Năng lượng âm có ích (bao gồm năng lượng âm trực tiếp và phản xạ có ích)}}{\text{Năng lượng âm vô ích (bao gồm năng lượng âm phản xạ vô ích và tiếng ồn)}}$$

Hay là:

$$K_p = \frac{\int_0^{50ms} .P^2 dt}{\int_{50ms}^{\infty} .P^2 dt}$$

Trong đó: **P** – áp suất âm

Đối với tiếng nói, yêu cầu độ rõ tới mức lý giải ý tứ của từng âm tiết

Độ rõ đối với từng âm tiết có thể xác định bằng tính toán hoặc đo đạc.

Ngôn ngữ khác nhau, yêu cầu độ rõ âm tiết khác nhau.

1. Chỉ tiêu độ rõ âm tiết PA

Đối với tiếng nói, đánh giá định lượng độ rõ bằng chỉ tiêu độ rõ âm tiết **PA%**, giá trị % biểu thị mức độ nghe rõ từng âm tiết, mức độ hiểu được từng lời nói.

Đối với âm nhạc chưa có chỉ tiêu định lượng như đối với tiếng nói, nhưng ngoài so sánh chủ quan có tính chất định tính cũng có thể đánh giá mức độ nghe rõ bằng chỉ tiêu độ rõ âm tiết **PA** của tiếng nói.

Biểu thức định nghĩa **PA**:

$$\text{Độ rõ âm tiết } \mathbf{PA} = \frac{\textbf{Số lượng âm tiết thính giả nghe chính xác}}{\textbf{Tổng số âm tiết phát ra}}\ 100\%$$

Và xác định bằng thực nghiệm. Tổ chức thực nghiệm như sau:

Một người đọc bảng âm tiết tiêu chuẩn, trong đó các âm tiết không có liên hệ với nhau về ý nghĩa và thói quen. Thính giả ngồi ở những vị trí đặc trưng khác nhau trong phòng nghe và ghi lại những âm tiết nghe rõ, hiểu được, sau đó lấy trung bình cộng toàn bộ những âm tiết chính xác của tất cả thính giả và tính theo biểu thức trên.

Âm tiết dùng để đo độ rõ, không có liên hệ với nhau về ý nghĩa và thói quen. Tiếng nói do những âm tiết có liên hệ với nhau về ý nghĩa và thói quen ghép lại nên không nhất thiết sau khi hoàn toàn nghe rõ từng âm tiết mới hiểu được.

Qua nhiều thực nghiệm đối với ngôn ngữ đa âm (tiếng Anh) V.O. Knudsen xác định được độ rõ trong phòng tốt nếu độ rõ âm tiết lớn hơn 85%, tương đương với độ rõ của tiếng nói 97%. Độ rõ âm tiết 75%, tương đương với độ rõ của tiếng nói 94% phải chú ý mới nghe được. Khi độ rõ âm tiết 65%, tương đương với độ rõ của tiếng nói 90% nghe rất khó khăn. Độ rõ âm tiết nhỏ hơn 65% khó nghe rõ được.

Thực tế, tổ chức thực hiện để đo chính xác chỉ tiêu độ rõ âm tiết **PA** theo định nghĩa khá phiền phức: lập ban tổ chức, tuyển người sành nghe, tập huấn ...

Sau đây giới thiệu phương pháp tính toán đơn giản, có thể xác định gần đúng giá trị **PA**.

2. Những nhân tố ảnh hưởng tới độ rõ

Những nhân tố ảnh hưởng tới độ rõ rất nhiều, có thể tóm tắt gồm 2 nhóm:

• ***Nhóm nhân tố chủ quan***

- Thành phần tần số của tiếng nói

- Tốc độ nói nhanh hay chậm

Nói chung âm tần số cao dễ nghe rõ hơn âm tần số thấp, tốc độ nói chậm dễ nghe rõ hơn nói nhanh.

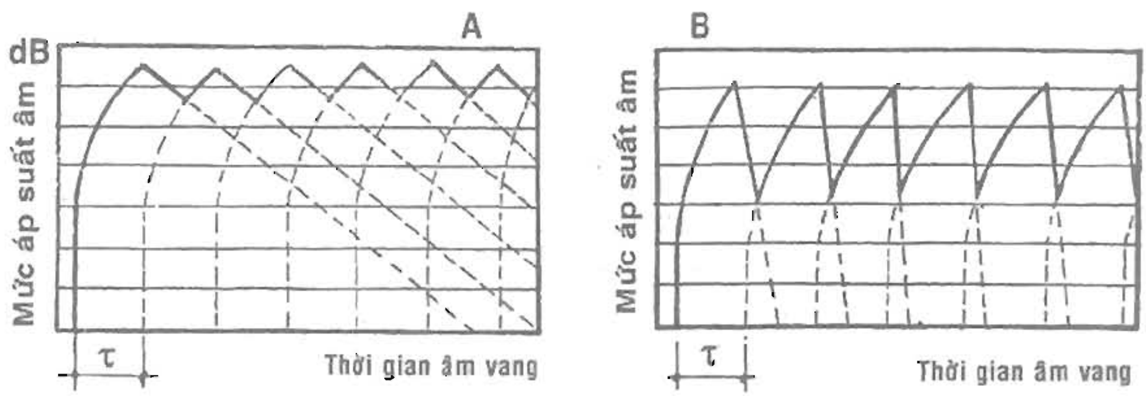
• ***Nhóm nhân tố khách quan (nhân tố thiết kế)***

- Thời gian âm vang trong phòng
- Mức ồn trong phòng
- Độ to của âm cần nghe
- Hiện tượng nhiễu loạn của tiếng dội do hình dáng phòng gây ra.

Cần đặc biệt lưu ý: nếu người nghe nhận được càng nhiều âm trực tiếp và âm phản xạ sau âm trực tiếp trong vòng 35 – 50 ms, độ rõ càng tăng mặc dù thời gian âm vang dài.

a) Thời gian âm vang và độ rõ

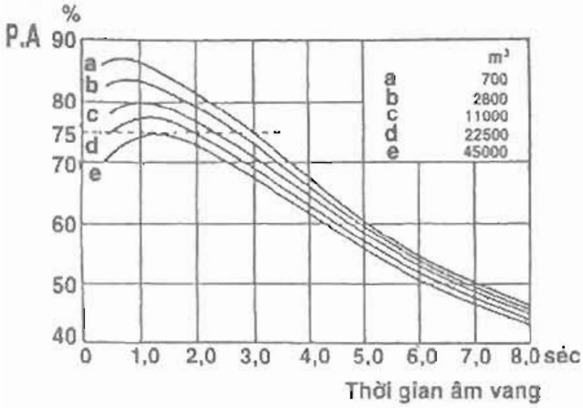
Trong phòng, thời gian âm vang thích hợp sẽ tận dụng được âm phản xạ đầu tiên bổ sung cho âm trực tiếp, tăng cường độ rõ. Nếu thời gian âm vang quá dài, độ rõ giảm xuống rất nhanh, khi đó âm phản xạ có hại quá nhiều, mức ồn trong phòng tăng lên, âm vang của âm trước che lấp âm sau (hình 5 - 25).



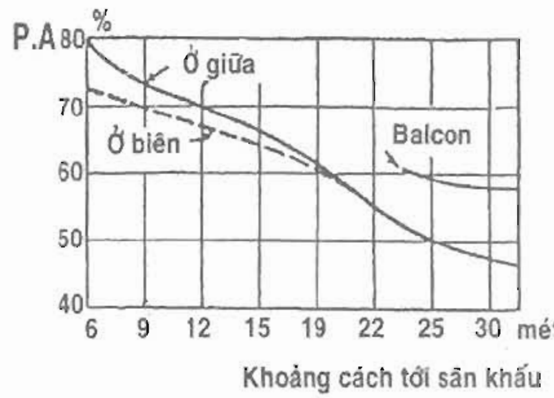
Hình 5 - 25. Thời gian âm vang và độ rõ
τ - Khoảng cách thời gian giữa hai âm – Phòng B rõ hơn phòng A

Thể tích tương đối của phòng cũng ảnh hưởng tới độ rõ, phòng có thể tích bé, thời gian âm vang ngắn, độ rõ cao. Nếu thể tích phòng 750 m^3, thời gian âm vang 0,5 giây, độ rõ lớn nhất 86%.

Phòng thể tích tương đối lớn, thời gian âm vang tăng lên 1 giây, độ rõ sẽ giảm 6%. Phòng thể tích 20.000m^3, thời gian âm vang $T \approx 2$ giây có thể bảo đảm nghe tốt, nhưng khi thể tích phòng vượt hơn 20.000 m^3, thời gian âm vang dài hay ngắn, nếu không tăng âm, khó bảo đảm nghe rõ (hình 5 - 26).



Hình 5 - 26. Độ rõ và thời gian âm vang trong phòng thể tích khác nhau



Hình 5 - 27. Độ rõ trên vùng chỗ ngồi trong phòng

Kết quả của nhiều thực nghiệm cho thấy: khi thời gian âm vang sai khác nhau 0,1 – 0,2 giây ảnh hưởng tới độ rõ 1%, không ảnh hưởng nhiều tới chất lượng âm trong phòng. Đối với phòng biểu diễn âm nhạc cùng điều kiện, thậm chí thời gian âm vang sai khác nhau 0,4 giây, chất lượng âm phản ánh tốt. Điều đó chứng tỏ thời gian âm vang chỉ là một trong những nhân tố quan trọng quyết định chất lượng âm, còn nhiều nhân tố quan trọng khác không phản ánh được trong giá trị của thời gian âm vang. Vì vậy, nếu chỉ dựa vào thời gian âm vang không thể phản ánh đầy đủ điều kiện chất lượng âm trong phòng.

Trong một phòng, độ rõ không đồng nhất trên toàn vùng chỗ ngồi, vì rằng tỷ lệ giữa năng lượng âm trực tiếp, năng lượng âm phản xạ trong vòng 50ms với tổng năng lượng âm vang tới các chỗ ngồi không đồng đều như nhau.

Thực nghiệm điều tra của V.O. Knudsen trong hội trường thời gian âm vang 2,1 giây cho thấy sự thay đổi độ rõ trên khu vực ngồi (hình 5 - 27). Khi thiết kế cố gắng khắc phục hiện tượng này.

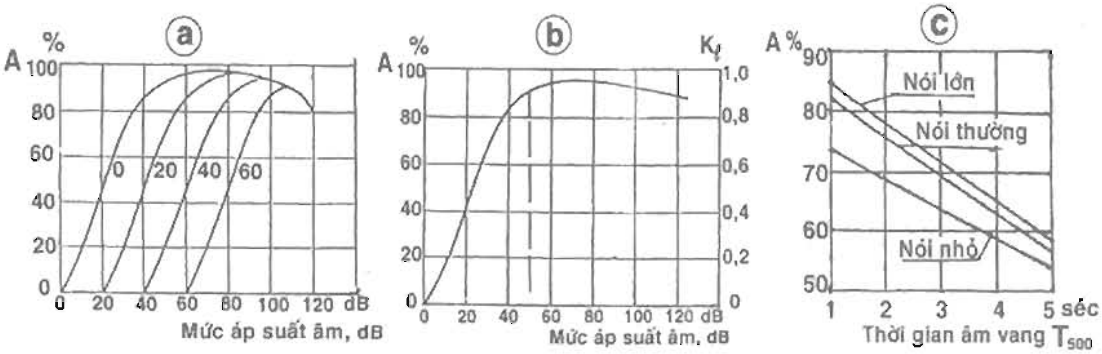
b) Độ rõ và mức ồn trong phòng

Trong phòng, do những điều kiện tự thân và nguồn ồn ngoài nhà xâm nhập vào phòng tạo nên một nền ồn trong phòng thường từ 40 – 45dB, do đó mức âm phải lớn hơn mức ồn 10 – 15dB (phụ thuộc vào tần số) mới đảm bảo đủ độ rõ. Do vậy, khi thiết kế cần xử lý cách âm để giảm nhỏ mức ồn trong phòng.

Căn cứ vào kết quả thực nghiệm H.Fletcher thành lập đường cong quan hệ giữa độ rõ **A** (%) với mức âm cần nghe, mức ồn trong phòng và ngoài trời (hình 5 - 28 a, b, c).

Từ đường cong (hình 5 – 28a) cho thấy: khi phòng yên lặng, độ rõ rất cao với mức âm cần nghe 40 – 50 dB. Nếu mức ồn trong phòng 43dB (mức ồn lớn nhất thường gặp trong các

công trình công cộng), độ rõ giảm xuống rõ rệt, mức âm phải lớn hơn 60dB mới đủ rõ, mức âm > 100dB, độ rõ giảm. Ngoài trời cũng vậy, độ rõ lớn nhất khi mức âm cần nghe 70dB, tăng mức âm cần nghe lớn hơn độ rõ giảm (hình 5 - 28b).



Biểu đồ H.Fletcher: Quan hệ giữa A% và mức âm trong 3 trường hợp: Yên tĩnh và 3 mức ồn của nền ồn

Biểu đồ H.Fletcher: Quan hệ giữa A% và mức âm khi không có âm vang và tiếng ồn

Quan hệ giữa T_{500} với A% tương ứng với 3 mức âm.

Hình 5 - 28

c) Độ rõ và độ to của âm cần nghe trong phòng

Đảm bảo mức âm đủ to cho mỗi chỗ ngồi trong phòng là điều kiện cơ bản để nghe rõ. Trong phòng khán giả, muốn cho mọi thính giả đều nhận được mức âm bé nhất như nhau phải loại trừ sự nhiễu loạn của tiếng ồn. Nếu phòng không có hệ thống tăng âm nên cố gắng hạn chế thể tích phòng và áp dụng các biện pháp tăng cường âm phản xạ đầu tiên bổ sung cho âm trực tiếp.

Thực nghiệm với nhiều tiếng nói lớn nhỏ khác nhau trong giảng đường $1000m^3$ phông ồn 30dB, thời gian âm vang của tần số 512 Hz khác nhau, cho kết quả độ rõ khác nhau (hình 5 - 28c).

Theo kết quả nghiên cứu của H. Fletcher, trường hợp ngoài trời, độ rõ cao nhất khi mức âm 70dB (hình 5 - 28b), nhưng ở trong phòng, do ảnh hưởng của nhiều nhân tố nên độ rõ kém hơn ở ngoài trời một ít.

d) Xác định độ rõ

Tổng hợp ba loại nhân tố ảnh hưởng trên, khi thiết kế, có thể xác định độ rõ âm tiết theo biểu thức gần đúng sau đây (đối với tiếng Anh):

Độ rõ âm tiết: $PA = 96.K_S.K_l.K_t.K_n$, (%)

Trong đó: K_S - hệ số giảm độ rõ do hình dáng phòng gây ra, thường khi thiết kế, nếu các giải pháp kiến trúc tránh được những thiếu sót nghiêm trọng về chất lượng âm có thể lấy $K_S = 1$

Có thể tham khảo những giá trị sau:

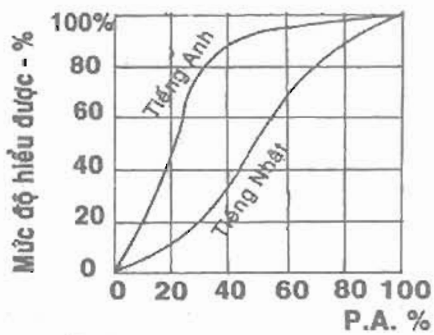
- Phòng mặt bằng hình chữ nhật, hình quạt: $K_S = 1$
- Phòng lớn có mặt tường, trần lõm: $K_S = 0,9$
- Phòng bé, trang âm bằng những lớp ốp phản xạ âm: $K_S = 1,06$

K_l: Hệ số giảm độ rõ do mức âm cần nghe trong phòng gây ra, lấy theo biểu đồ H. Fletcher (hình 5 -14a).

K_t: Hệ số giảm độ rõ do thời gian âm vang trong phòng gây ra, lấy theo biểu đồ của V.O. Knudsen (hình 5 - 14b).

K_n: Hệ số giảm độ rõ do mức ồn trong phòng gây ra, lấy theo biểu đồ hình 5 - 14c.

Từ kết quả tính toán, có thể tham khảo biểu đồ hình 5 - 29 xác định mức độ hiểu được đối với tiếng nói.



Hình 5 - 29. Quan hệ độ hiểu được và độ rõ âm tiết PA (%)

Lý tưởng nhất là các giá trị K đều bằng một, khi đó độ rõ đạt 96%. Độ rõ âm tiết, chúng ta xét ở trên là đối với tiếng Nga và tiếng Anh (những ngôn ngữ đa âm) tiếng Việt của chúng ta là loại ngôn ngữ đơn âm, mỗi tiếng nói phát ra có một khoảng cách thời gian xác định, cho nên độ rõ và độ hiểu được không hoàn toàn giống tiếng Nga và tiếng Anh, trong điều kiện chúng ta chưa nghiên cứu để thiết lập mối quan hệ này, có thể tham khảo theo tiêu chuẩn của tiếng Nga và tiếng Anh cũng rất bổ ích.

3. Hệ số độ rõ, hàm số độ rõ

- Năng lượng âm phản xạ có ích bổ sung cho âm trực tiếp, tăng độ to, độ rõ.
- Năng lượng âm phản xạ vô ích nhiều, thời gian âm vang dài làm giảm độ rõ.

Theo đó, E.E. Gôlicốp đề nghị hệ số độ rõ K_P, trong đó đề cập khá toàn diện các yếu tố ảnh hưởng tới độ rõ đối với tiếng Nga:

$$K_P = \frac{\bar{E}_{tt} + \bar{E}_{t<50}}{\bar{E}_{t>50} + \bar{E}_t}$$

Trong đó: $\bar{E}_{tt}, \bar{E}_{ɫ<50}, \bar{E}_{ɫ>50}$ và $\bar{E}_t$ lần lượt là mật độ năng lượng âm trực tiếp, năng lượng âm phản xạ trong vòng 50mS sau âm trực tiếp, năng lượng âm phản xạ ngoài 50mS và mật độ năng lượng tiếng ồn.

Mẫu số biểu thị sự nhiễu loạn của âm vang ngoài 50ms và nền ồn, giá trị của mẫu số càng lớn, độ rõ càng giảm.

Như vậy, độ rõ **A** là hàm số của K_P:

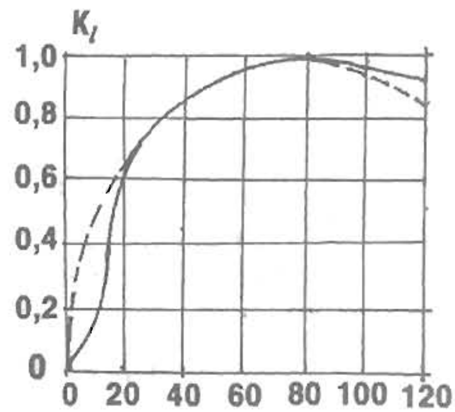
$$A\ (\%) = f(K_P)$$

Lần lượt xác định các số hạng trong K_P, cuối cùng ta có:

$$K_P = \frac{\dfrac{W}{4\pi.ɫ^2C} + \dfrac{WT}{13{,}8V}\left(1 - e^{-\frac{0{,}86}{T}}\right)}{\dfrac{WT}{13{,}8.V}.e^{-\frac{0{,}86}{T}} + \bar{E}_t}$$

Nếu nền ồn nhỏ, thực tế thường thừa nhận $\bar{E}_t = 0$, khi đó:

$$K_P = \frac{\dfrac{W}{4\pi.ɫ^2C} + \dfrac{WT}{13{,}8V}\left(1 - e^{-\frac{0{,}86}{T}}\right)}{\dfrac{WT}{13{,}8.V}.e^{-\frac{0{,}86}{T}}}$$



Hình 5 - 30. Mức áp suất âm có ích $N_ɫ$.dB

Từ biểu thức cho thấy, khi thời gian âm vang quá dài (T >> 0,86), $e^{\frac{1}{0{,}86/T}} \approx 1$, khả năng phản xạ của các bề mặt trong phòng cao ($\bar{\alpha}$<<1) sẽ hầu như không có năng lượng âm phản xạ có ích bổ sung cho âm trực tiếp, vì khi đó âm vang che lấp quá lớn.

Hệ số độ rõ K_P trên đây chưa xét tới sự hút âm của không khí trên đường truyền âm. Thực nghiệm cho thấy mối quan hệ giữa **A(%)** và khoảng cách **ɫ** từ nguồn tới sai lệch không nhiều khi thời gian âm vang **T** sai khác gấp đôi.

Nhưng trong quan hệ **A(%)** = $f(K_P)$ sai khác rất lớn khi **T** sai khác gấp đôi

Như vậy, K_P còn phụ thuộc vào **T** và tác dụng lưu âm của thính giác, tức là:

$$K'_P = T.K_P$$

Điều này chỉ đúng khi âm cần nghe đủ lớn.

Theo V.O. Knudsen hệ số giảm độ rõ do mức âm cần nghe trong phòng như biểu đồ (hình 5 - 30).

Từ biểu đồ cho thấy giá trị K'_p được bảo đảm khi kể thêm K_l

$$K''_p = K_l.T.K_p$$

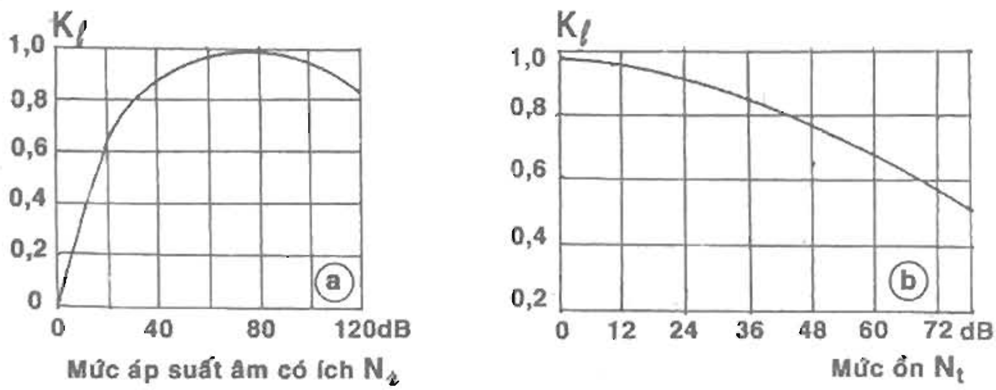
Với độ chính xác vừa đủ, hệ số giảm độ rõ K_l có thể xác định bằng biểu thức

$$K_l = 0{,}039.N_{đ}.e^{-\frac{N_{đ}}{70}}$$

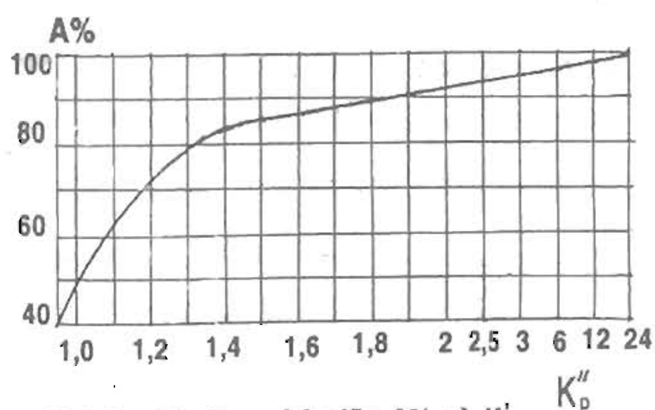
Trong đó:

$$N_{đ} = 10.\lg.\frac{\overline{E}_{tt} + \overline{E}_{đ<50}}{\overline{E}_{ô}}, \quad dB$$

là mức âm có ích tại vị trí khảo sát, với $\overline{E}_{ô} = 3.10^{-21}$ Watt/S.cm^3 - năng lượng âm ở ngưỡng nghe.



Hình 5 - 31. Quan hệ giữa K_l với $N_{đ}$ và N_t



Hình 5 - 32. Quan hệ giữa A% và K'_p

Hệ số giảm độ rõ K_t do mức âm cần nghe phụ thuộc vào mức âm có ích (N_t) tại vị trí khảo sát có thể xác định từ biểu đồ hình 5 - 31a

Hệ số giảm độ rõ K_t mức ồn N_t trong phòng xác định từ biểu đồ hình 5 - 31b

Cuối cùng:

$$K_p'' = 0,039 \frac{\dfrac{1}{4\pi.\ell^2 C} + \dfrac{T}{13,8}\left(1 - e^{-\frac{0,86}{T}}\right)}{\dfrac{T}{13,8}.e^{-\frac{0,86}{T}}}.T.N_t.e^{-\frac{N_t}{70}}$$

Quan hệ giữa K_p'' và A(%), thực nghiệm thành lập biểu đồ hình 5 - 32

Từ biểu đồ thực nghiệm cho thấy khi $K_p'' \geq 2$ mới đủ độ rõ.

Cần chú ý quá trình dẫn tới các công thức trên đây với giả thiết trường âm khuếch tán, năng lượng âm tắt dần đều dặn

Khi thiết kế thực tế, chọn những giải pháp tạo trường âm trong phòng có đủ mức độ khuếch tán nhất định.

Tính toán và thực nghiệm trên đây đối với ngôn ngữ đa âm (tiếng Nga, tiếng Anh)

Chương 6

THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM TRONG PHÒNG KHÁN GIẢ

I. NHỮNG YÊU CẦU CHUNG VỀ CHẤT LƯỢNG ÂM TRONG CÁC LOẠI PHÒNG KHÁN GIẢ

Phòng khán giả của nhà hát, phòng hòa nhạc, ca kịch, giảng đường, phòng họp, v.v... , mục đích sử dụng khác nhau, yêu cầu chất lượng âm khác nhau. Các phòng khán giả đều xuất phát từ mục đích đảm bảo cho thính giả nghe được âm có chất lượng tốt nhất, cho nên có những yêu cầu chung giống nhau về chất lượng âm xuất phát từ sự đánh giá chủ quan của người nghe.

Sau đây chúng ta nghiên cứu những yêu cầu chung đó.

1. Điều kiện nghe tốt và nhân tố ảnh hưởng

Muốn nghe được âm có chất lượng tốt, âm phải to, đủ rõ, nghe thoải mái, âm hài hòa cân đối không bị méo, mức độ nhiễu loạn của tiếng ồn ít (tức là trong phòng yên lặng, âm vang phù hợp, không có tiếng dội).

1.1. Âm đủ to

Là yêu cầu cơ bản và trước hết để nghe tốt, đảm bảo mọi chỗ ngồi trong phòng đều nhận được âm mức to như nhau. Âm không đủ to phải tập trung chú ý mới nghe được, âm quá to nghe chối tai.

Muốn cho âm đủ to, công suất của nguồn âm đủ lớn, mức ồn trong phòng đủ bé. Nói chung mức âm cần nghe lớn hơn mức ồn trong phòng từ 10 – 15dB. Trong phòng khán giả, mức ồn tạo nên do hoạt động của thiết bị, những cử động, va chạm của khán giả thường tới 40dB. Muốn nghe được, mức âm cần nghe ≥ 60dB, nếu công suất của nguồn âm bé phải dùng hệ thống tăng âm.

1.2. Âm đủ rõ

Điều quan trọng để nghe hiểu là độ rõ

Đối với tiếng nói, độ rõ đánh giá bằng độ rõ âm tiết. Nếu trong phòng chỉ nghe được mà không hiểu được sẽ cảm thấy khó chịu. Đối với âm nhạc, độ rõ chỉ mức độ nghe rõ từng tiết tấu của các loại nhạc cụ.

Âm thính giả nghe được trong phòng gồm ba phần: âm trực tiếp, âm phản xạ đầu tiên và âm vang sau âm phản xạ đầu tiên. Tỷ lệ tổng hợp của ba loại âm này gồm cường độ, thời gian đến đều ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng âm (độ rõ và độ to). Vì thế ảnh hưởng tới độ rõ không phải đơn thuần do thời gian âm vang dài hay ngắn. Thực tế cho thấy, nếu âm trực tiếp và âm phản xạ đầu tiên mạnh hơn âm vang vô ích, trong phòng thời gian âm vang tương đối dài vẫn bảo đảm nghe rõ. Khi thiết kế hình dáng phòng (mặt bằng, mặt cắt) chú ý bố trí các mặt phản xạ hợp lý, lựa chọn bố trí vật liệu, kết cấu hút âm phù hợp, tận dụng được năng lượng âm trực tiếp và năng lượng âm phản xạ đầu tiên.

1.3. Mức độ phong phú của âm

Đối với âm nhạc và tiếng hát, ngoài yêu cầu nghe rõ còn yêu cầu nghe hay, âm thanh du dương, mềm mại đủ sức rung cảm, tức là:

- Âm thanh có độ phong phú nhất định
- Âm thanh hài hòa, cân đối không mất thật.

Trong phòng khán giả, không ai thích nghe âm đột nhiên phát ra và đột nhiên mất đi. Mọi người đều mong muốn nghe âm du dương mềm mại, vang và ấm ... có nghĩa là âm có được mức độ phong phú nhất định.

Theo nhiều nghiên cứu, kết hợp sự đánh giá chủ quan của nhiều người, độ phong phú của âm không những phụ thuộc vào thời gian âm vang dài hay ngắn mà còn phụ thuộc vào cấu trúc của âm trực tiếp và âm phản xạ đầu tiên (bao gồm chênh lệch về mức âm, về thời gian đến). Nếu thời gian âm vang đủ, âm phản xạ dày đặc, trường âm tắt dần đều đặn, tức là trường âm đạt được mức độ khuếch tán nhất định, có thể đảm bảo độ phong phú như ý muốn. Độ rõ và độ phong phú không tuyệt đối độc lập với nhau. Độ phong phú còn phụ thuộc vào đặc tính tần số của âm vang.

Đối với âm nhạc và tiếng hát, sự hài hòa uyển chuyển của âm thanh bao gồm hai yêu cầu: sự hài hòa âm thanh của các nhóm nhạc cụ trong đội nhạc và sự hài hòa âm thanh của từng nhạc cụ. Khi đứng rất gần đội nhạc dễ có cảm giác một bộ phận âm thanh nào đó đặc biệt mạnh, gây ấn tượng mất cân bằng. Trong những phòng lớn, nếu xử lý không thỏa đáng, phản xạ định hướng mạnh, phân bố quanh trục bức xạ của nguồn, gây hiện tượng mất cân đối, hơn nữa âm nghe mất thật.

1.4. Mức độ nhiễu loạn của tiếng ồn

Kinh tế và kỹ thuật phát triển, chất lượng sống của con người ngày càng cao, trong phòng sử dụng ngày càng nhiều thiết bị: thông gió, điều hoà không khí, thiết bị sân khấu, thiết bị điện ... là những nguồn ồn tư thân.

Khi lựa chọn hình dáng phòng chú ý khả năng xuất hiện hiện tượng tiếng dội, hiện tượng âm lặp lại do chênh lệch đường đi của các âm quá dài, tiếng dội làm cho chất lượng âm bị tổn hại nghiêm trọng giống hiện tượng tiêu điểm âm.

Ba yếu tố: độ to, độ rõ, độ phong phú của âm tạo điều kiện thuận lợi cơ bản để người nghe cảm thụ âm tốt. Hiệu quả cuối cùng phụ thuộc sự cố gắng chủ quan của người biểu diễn, sự yêu thích và mức độ cảm thụ chủ quan của người nghe ... Sau khi sử dụng thực tế nhiều lần, thông qua điều tra ý kiến của nhiều thính giả mới đánh giá đúng chất lượng âm thực tế của phòng.

2. Trình tự thiết kế chất lượng âm

Thiết kế chất lượng âm phòng khán giả tiến hành phối hợp ngay từ lúc lựa chọn địa điểm, thiết kế tổng mặt bằng công trình và xuyên suốt cho tới khi thi công xong đưa vào sử dụng. Các bước tiến hành như sau.

- Lựa chọn địa điểm, áp dụng các giải pháp chống ồn hoàn cảnh, nghiên cứu tổ hợp tổng mặt bằng, thiết kế tổ chức các quan hệ trong tổng mặt bằng.

- Xác định yêu cầu về chất lượng âm, sức chứa, thể tích phòng, dự kiến công suất nguồn âm, xác định có dùng hệ thống điện thanh hay không.

- Áp dụng nguyên lý âm hình học thiết kế hình dáng phòng: mặt bằng, mặt cắt.

- Chọn hoặc tính thời gian âm vang tối ưu. Lựa chọn và bố trí vật liệu hút âm.

- Chọn và bố trí hệ thống điện thanh (nếu có).

- Áp dụng các giải pháp khử hiện tượng nhiễu loạn của tiếng ồn, kiểm tra cấu trúc các phản xạ đầu tiên

- Tổ chức đánh giá và đo đạc chủ quan, khách quan trong quá trình thi công để thiết kế sửa đổi điều chỉnh.

Khi nghiên cứu tổ chức tổng mặt bằng, lưu ý sự nhiễu loạn của tiếng ồn hoàn cảnh. Tìm giải pháp cách ly công trình với đường sắt, nhà máy lớn, các đầu mối giao thông ... Trước khi xác định vị trí công trình, tốt nhất nên đo mức ồn trong vùng xây dựng để dễ so sánh và xác định mức độ ảnh hưởng của tiếng ồn.

Tổ chức mặt bằng công trình, không để các chức năng nhiễu loạn lẫn nhau.

Căn cứ vào mục đích sử dụng, căn cứ vào sức chứa, xác định chỉ tiêu thể tích mỗi chỗ ngồi hợp lý, từ đó xác định thể tích phòng. Theo số liệu điều tra và kinh nghiệm, dự đoán sơ bộ mức âm trong phòng, xác định có cần hệ thông điện thanh hay không hoặc chỉ sử dụng hệ thống điện thanh cho một số trường hợp nào đó cần thiết

Áp dụng nguyên lý âm hình học thiết kế hình dáng phòng (hình dáng mặt bằng, mặt cắt). Hình dáng phòng thỏa mãn yêu cầu nghe nhìn, nghệ thuật kiến trúc, chiếu sáng, thông gió ... xét toàn diện, kết hợp với các bộ môn chuyên môn hữu quan.

Về mặt âm thanh, hình dáng phòng tận dụng được năng lượng âm phản xạ có ích, đồng thời tránh được hiện tượng tiếng dội, tiêu điểm âm ...

Sau khi đã xác định hình dáng phòng, tiến hành tính hoặc chọn thời gian âm vang tối ưu của các tần số, xác định tổng lượng hút âm yêu cầu bao gồm lượng hút âm thay đổi và cố định, thiết kế trang âm, nội thất.

Thiết kế trang âm kết hợp với thiết kế trang trí nội thất.

Trong thực tế, khi thiết kế chất lượng âm khó xét đầy đủ các nhân tố ảnh hưởng, kết quả thực tế không tránh khỏi sài lệch với thiết kế. Vì vậy trong quá trình thi công, thường xuyên theo dõi, đo đạc, điều chỉnh bổ sung, lưu ý hiện tượng tiếng dội và thời gian âm vang, hai yếu tố này xuyên suốt các quá trình theo dõi kiểm tra, vì ảnh hưởng của nó rất lớn tới chất lượng âm nhưng mức độ chính xác trong tính toán không cao.

Công trình hoàn thành có thể thông qua một số thiết bị, dụng cụ để xác định đặc tính âm thanh của phòng, nhưng chất lượng âm tốt hay xấu xác định qua ý kiến của thính giả. Thông thường trước khi đưa vào sử dụng chính thức, tổ chức biểu diễn kiểm tra, mời chuyên gia âm thanh, diễn viên, nhạc sĩ, kiến trúc sư ... và một số thính giả bình thường đến nghe và đánh giá kết quả, tổng hợp nhiều ý kiến phản ánh mới xác định đúng đắn chất lượng âm trong phòng. Từ đó thiết kế điều chỉnh.

3. Xác định thể tích phòng khán giả

Theo yêu cầu âm thanh, có hai quan điểm chọn thể tích phòng khán giả:

- Xác định thể tích phòng theo cường độ âm.
- Xác định thể tích phòng theo yêu cầu thời gian âm vang hợp lý.

3.1. Xác định thể tích phòng theo cường độ âm

Khi nói chuyện, công suất âm của người rất bé, nếu thể tích phòng quá lớn, năng lượng âm trong phòng sẽ quá nhỏ, thính giả ngồi xa nguồn âm nhận được âm không đủ to, độ rõ giảm, phải dùng hệ thống tăng âm. Nếu giảm thể tích phòng có thể không dùng hệ thống tăng âm.

Đối với phòng chủ yếu yêu cầu độ rõ như giảng đường, phòng họp ... người nói chuyện nói trong thời gian tương đối dài, công suất âm vì vậy không tăng to được. Theo kinh nghiệm, phòng loại này thể tích không vượt quá 2800m^3 vẫn nghe tốt, không cần hệ thống tăng âm.

Đối với phòng kịch nói, công suất âm của diễn viên lớn hơn nói bình thường, nhưng để diễn viên gắng quá sức ảnh hưởng tới hiệu quả diễn xuất. Phòng kịch nói thường yêu cầu sức chứa không quá 1500 người, thể tích tương đối nhỏ, thiết kế kiến trúc tốt có thể đảm bảo nghe tốt không cần hệ thống điện thanh.

Phòng biểu diễn nhạc giao hưởng, ca vũ, vì công suất âm của nhạc cụ và diễn viên đều tương đối lớn, nếu thiết kế kiến trúc tốt, sức chứa có thể lên tới 3000 người, thể tích không vượt quá 20.000m^3, không dùng hệ thống tăng âm vẫn nghe tốt.

Phòng đa dụng, thể tích phòng khán giả xét theo tiêu chuẩn biểu diễn. Khi nói chuyện có thể dùng hệ thống tăng âm để thỏa mãn độ rõ. Khi sử dụng hệ thống tăng âm có thể dùng loa định hướng mạnh, trực tiếp đưa âm tới mọi chỗ ngồi, tăng cường năng lượng âm trực tiếp, đồng thời do tác dụng hút âm của khán giả rất lớn, hấp thu phần lớn năng lượng tới, không còn bao nhiêu để phản xạ qua lại giữa các bề mặt trong phòng tạo nên âm vang, đảm bảo yêu cầu độ rõ.

3.2. Xác định thể tích phòng theo yêu cầu thời gian âm vang hợp lý

Trong hầu hết phòng khán giả, thời gian âm vang tối ưu giữ tác dụng quan trọng đối với chất lượng âm trong phòng. Thời gian âm vang dài hay ngắn tỷ lệ thuận với thể tích phòng, tỷ lệ nghịch với tổng lượng hút âm trong phòng. Trong tổng lượng hút âm của phòng, lượng hút âm của người chiếm tỷ lệ chủ yếu. Nếu chỉ tiêu thể tích mỗi chỗ ngồi quá bé khi khán giả ngồi hết ghế, lượng hút âm trong phòng đã đủ lớn, không cần bố trí vật liệu hút âm, thời gian âm vang rất ngắn không đạt yêu cầu. Nếu công trình đã xây xong hậu quả đó không khắc phục được. Nếu chỉ tiêu thể tích mỗi chỗ ngồi quá lớn, thời gian âm vang sẽ quá dài, khi đó phải sử dụng nhiều vật liệu hút âm để xử lý, gây tốn kém, đồng thời cũng khó đạt được hiệu quả mong muốn.

Do đó chọn chỉ tiêu thể tích phòng hợp lý, đảm bảo thời gian âm vang dài hơn giá trị tối ưu một ít, sau đó dùng vật liệu hút âm để điều chỉnh, như vậy vừa kinh tế, vừa đạt yêu cầu mong muốn.

Chỉ tiêu thể tích mỗi chỗ ngồi (**M**) biểu thị mối quan hệ giữa thể tích và sức chứa:

$$\mathbf{M} = \frac{\textbf{Thể tích phòng}}{\textbf{Tổng sức chứa}} \quad (m^3/\text{người})$$

Chỉ tiêu thể tích phòng mục đích sử dụng khác nhau, có thể tham khảo hình 5 - 2 hoặc bảng 6 - 1.

Bảng 6 - 1

Công dụng của phòng	Chỉ tiêu thể tích mỗi chỗ ngồi m^3/người	Không nên vượt quá m^3/người
Phòng nói chuyện, kịch nói	3,5 – 4,4	5
Chiếu phim	4 – 5	6
Âm nhạc, ca vũ	6 – 8	8
Đa dụng	4,5 – 5,5	6

4. Yêu cầu đối với hình dáng phòng khán giả

Hình dáng phòng khán giả rất quan trọng đối với chất lượng âm, thiết kế không tốt, chất lượng âm kém, nhiều trường hợp không sửa được.

Hình dáng phòng tốt khi đạt được những yêu cầu sau đây:

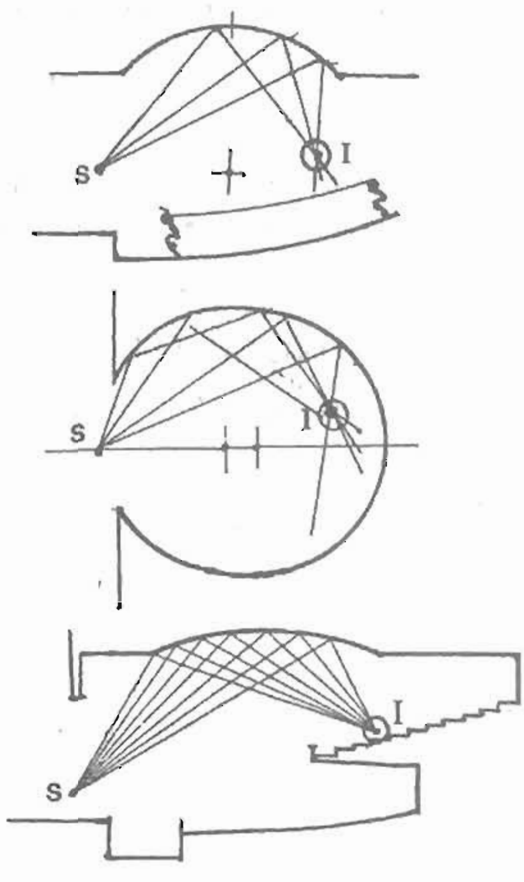
4.1. Tận dụng được năng lượng âm có ích trong phòng

- Đối với âm trực tiếp: vì âm trực tiếp tắt dần rất nhanh, tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách đến nguồn, giảm tổn thất âm trực tiếp bằng cách rút ngắn quãng đường lan truyền, không để âm trực tiếp vượt qua chướng ngại, vượt qua đầu khán giả, gây tổn thất vô ích trên đường lan truyền. Hình dáng phòng khán giả phù hợp với tính định hướng của nguồn âm.

- Đối với âm phản xạ: tận dụng triệt để năng lượng âm phản xạ trong vòng 50mS sau âm trực tiếp để tăng độ rõ và độ to.

4.2. Chất lượng âm ở mỗi chỗ ngồi trong phòng đều như nhau

Chất lượng âm đồng đều trong phòng tạo được từ kết quả tổng hợp của nhiều giải pháp xử lý kiến trúc: thời gian âm vang, bố trí hệ thống tăng âm, xử lý hình dáng các bề mặt giới hạn v.v... sau đây xét hai yếu tố liên quan tới hình dáng phòng.



Hình 6 - 1. Tiêu điểm âm I

a) Trường âm phân bố đều

Trước hết, mức âm ổn định tại mọi điểm trong phòng xấp xỉ bằng nhau. Những vùng chỗ ngồi xa nguồn âm, mức âm trực tiếp không đủ, áp dụng những giải pháp hợp lý đưa âm phản xạ ra sau, tăng cường cho âm trực tiếp. Tránh hiện tượng có những vùng chết không có phản xạ âm.

Cố gắng tránh sử dụng những mặt tường, trần lõm dễ tạo tiêu điểm âm và âm phản xạ men tường.

b) Số lượng và cấu trúc của âm phản xạ

Số lượng và cấu trúc của âm phản xạ xấp xỉ bằng nhau trên toàn vùng chỗ ngồi. Thường những chỗ ngồi phía trước nghe âm rất khô do thiếu âm phản xạ, lưu ý chọn giải pháp thích đáng đảm bảo chất lượng âm cho vùng này.

4.3. Tránh xuất hiện những âm có hại do hình dáng phòng gây ra

a) Hiện tượng tiêu điểm âm (điểm I trong hình 6 - 1)

Tiêu điểm âm làm cho trường âm phân bố không đều, ở vùng tiêu điểm âm, nghe âm gián đoạn, mơ hồ.

Mặt cong lõm trên trần, nguy hiểm nhất khi bán kính cong bằng chiều cao của phòng, khi đó tiêu điểm âm rơi đúng trên vùng chỗ ngồi của khán giả, nếu bán kính cong bé hơn hai lần chiều cao của phòng, tiêu điểm âm ít nguy hiểm hơn.

b) Hiện tượng tiếng dội (hình 6 - 2)

Hiện tượng tiếng dội xuất hiện trong phòng do âm phản xạ từ bề mặt cứng nào đó đến sau âm trực tiếp ngoài 50mS, và cường độ âm vượt quá giới hạn cho phép.

Có thể nhận biết những vị trí có thể gây âm phản xạ dẫn đến tiếng dội (hình 6 - 2).

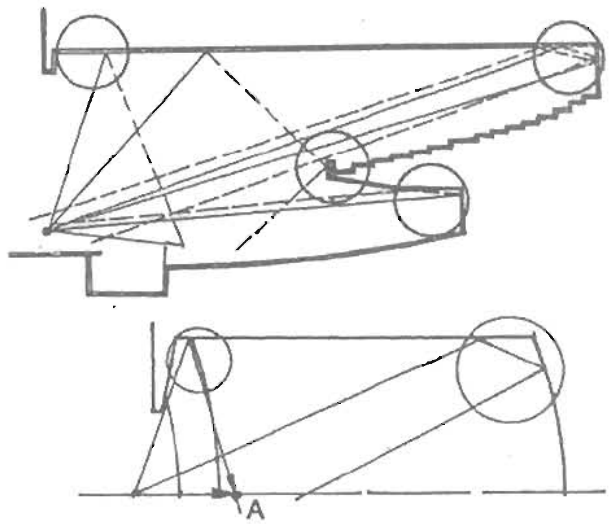
Tiếng dội liên tục xuất hiện giữa hai mặt tường cứng song song nhau và nguồn âm đặt giữa hai mặt tường này.

Vì vậy thường thiết kế hai mặt tường hai bên miệng sân khấu lệch nhau, chỉ cần góc lệch 5^0 là đủ, hoặc nên xử lý khuếch tán âm trên hai mặt tường này.

Thiết kế hình dáng phòng theo nguyên lý âm hình học chỉ phản ánh gần đúng đặc điểm truyền âm trong phòng.

Nguyên lý âm hình học bỏ qua những hiện tượng phức tạp trong quá trình truyền sóng: sự hấp thu không đều của những bề mặt lớn, hiện tượng giao thoa của sóng âm trong phòng...

Vì kích thước mặt bằng, mặt cắt của phòng khán giả lớn hơn rất nhiều so với chiều dài bước sóng của sóng âm, âm tần số cao và trung là những âm rất quan trọng đối với chất lượng âm. Áp dụng nguyên lý âm hình học có thể nhận được kết quả tương đối chính xác, vì vậy thường áp dụng rộng rãi. Khi thiết kế hình dáng phòng khán giả, trước tiên người thiết kế nắm được mục đích sử dụng của phòng, quy mô biểu diễn, loại nguồn âm, vị trí nguồn âm trong phòng, phạm vi hoạt động của nguồn âm trên sân khấu.

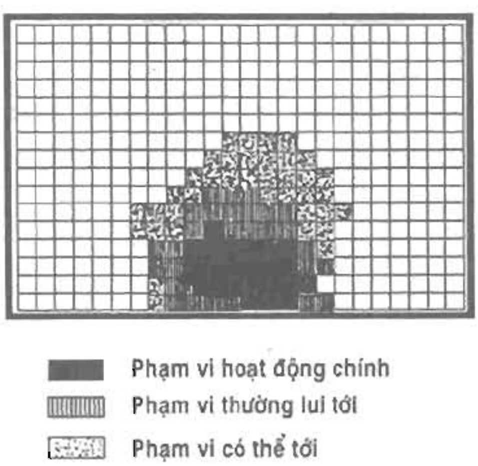


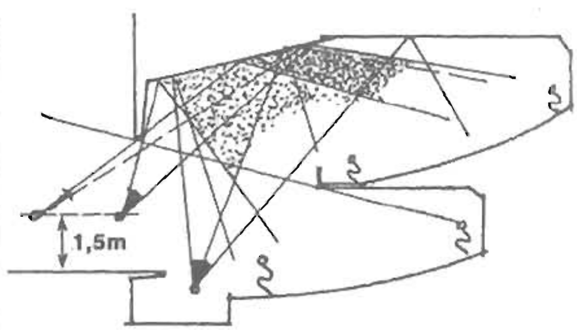
Hình 6 - 2. Vị trí có khả năng sinh tiếng dội

Khi đã xác định vị trí của nguồn âm, coi đó là nguồn âm điểm, dựng những tia tới và tia phản xạ phân bố trong hình thể phòng theo ý đồ thiết kế, trên cơ sở đó dựng hình dáng trần và tường thỏa mãn yêu cầu.

Phòng khán giả cấu trúc bằng những đoạn thẳng, áp dụng phương pháp âm hình học rất thuận tiện, nếu cấu trúc bằng những mặt cong, có thể coi mặt cong tạo thành từ nhiều đoạn thẳng gấp khúc và xác định các tia phản xạ bằng cách xác định ảnh ảo tương ứng của từng đoạn thẳng gấp khúc trong đó.

4.4. Vị trí nguồn âm

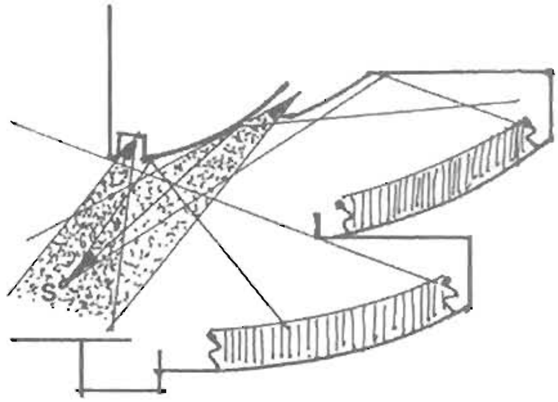




Vị trí nguồn âm thay đổi, chùm tia phản xạ thay đổi

Hình 6 - 3. Vị trí nguồn âm

Khi biểu diễn, diễn viên luôn di động trên sân khấu theo kịch tình, do đó vị trí nguồn âm thay đổi thường xuyên. Khi thiết kế thường chỉ xét vị trí nguồn âm trong phạm vi nào đó trên sân khấu, phạm vi này rộng hay hẹp phụ thuộc quy mô của nhà hát, thể loại biểu diễn, quy mô biểu diễn, thông thường lấy giữa miệng sân khấu và trong chiều sâu 3 – 6m tính từ màn sân khấu, chiều cao nguồn âm khoảng 1,4 – 1,5m (hình 6 - 3). Khi phòng khán giả có thiết bị tăng âm, vị trí loa cũng xác định theo kết quả phân tích âm hình học.



Hình 6 - 4. Giải pháp chiếu sáng mặt

5. Thiết kế hình dáng phòng khán giả

Theo những phân tích trên đây, muốn có hình dáng phòng khán giả tốt phải bắt đầu từ việc lựa chọn hình thức cơ bản của mặt bằng, mặt cắt cho đến các chi tiết cụ thể của phòng nhằm thỏa mãn ba yêu cầu cơ bản sau đây:

- Tận dụng mọi khả năng đảm bảo cường độ âm phân bố đều trên toàn khu vực ngồi của khán giả, thiết kế những bề mặt thích hợp đưa âm phản xạ ra phía sau, tăng cường cho âm trực tiếp bị giảm yếu khi tới khu vực này. Trường âm trong phòng đủ khuếch tán, bảo đảm cấu trúc giữa âm phản xạ và âm trực tiếp.

- Tránh hiện tượng tiếng dội trên toàn khu vực ngồi của khán giả và những vị trí đặt micrô.

- Thời gian âm vang trong phạm vi tần số hẹp xấp xỉ bằng nhau.

5.1. Mặt bằng tầng dưới

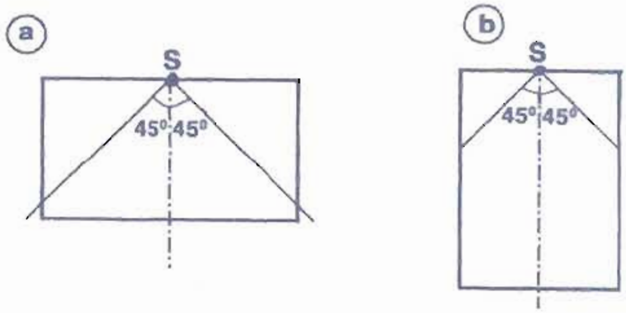
Hai mặt bằng diện tích bằng nhau nhưng hình dáng khác nhau, một phòng rộng, ngắn và một phòng dài, hẹp (hình 6 - 5). Nguồn âm **S**, mọi nguồn âm đều có tính định hướng, vùng chỗ ngồi tốt chỉ trong phạm vi góc 45^0 về hai phía của trục âm.

Theo quy luật đó, diện tích chỗ ngồi của phòng **b** lớn hơn phòng **a**.

Thông thường tỷ lệ (rộng x dài) của mặt bằng nên trong khoảng (3 x 5), đảm bảo khoảng cách xa nhất cho phép đến nguồn âm:

- Phòng hòa nhạc không quá 35m.
- Phòng kịch nói không quá 26m.
- Phòng chiếu phim không quá 36m (có thể lên tới 40m).

Yêu cầu này phù hợp với độ nhìn rõ.



Hình 6 - 5

Tỷ lệ các kích thước của phòng có thể tham khảo theo bảng 6 - 2.

Bảng 6 - 2. Tỷ lệ kích thước của phòng

CAO	RỘNG	DÀI
1,0	2,0	3,0 - 3,5
1,0	2,5	3,5 - 4,0
1,0	1,6	2,3
2,0	3,0	5,0

Kinh nghiệm trong và ngoài nước cho thấy tỷ lệ các kích thước của phòng là cơ sở đầu tiên quyết định chất lượng âm trong phòng.

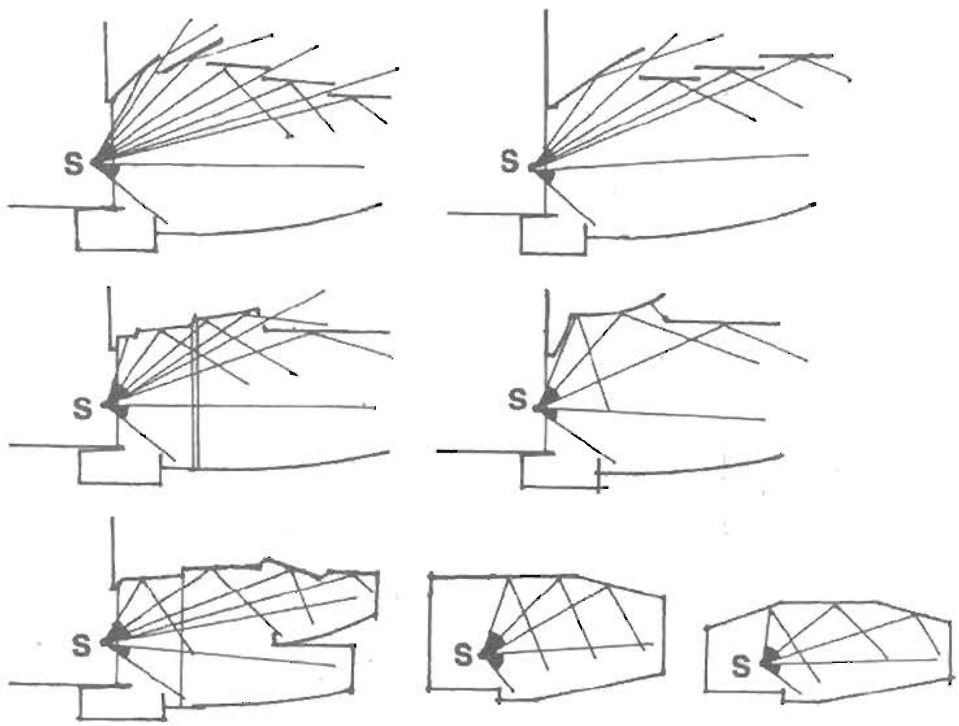
5.2. Trần trên miệng sân khấu, tường hai bên gần miệng sân khấu

Trần trên miệng sân khấu và tường hai bên gần miệng sân khấu, diện tích chỉ chiếm một phần rất nhỏ so với toàn bộ diện tích các bề mặt trong phòng, nhưng có ý nghĩa rất lớn đối với chất lượng âm trong phòng. Khi thiết kế, lưu ý giải quyết tốt giữa yêu cầu phản xạ âm với bố trí đèn chiếu mặt, chiếu tai. Không để những mặt này đưa âm phản xạ ra phía sau quá nhiều, bỏ trống phía trước, làm cho chất lượng âm ở những hàng ghế đầu trở nên xấu, năng lượng âm mất nhiều trong lỗ đèn hoặc chỉ đưa âm phản xạ trong phạm vi hẹp.

Khi thiết kế các bề mặt này chú ý tới hai yêu cầu:

- Trong điều kiện thỏa mãn kỹ thuật, cố gắng rút bé chiều rộng lỗ đèn, không để năng lượng âm mất trong lỗ đèn.

- Cố gắng mở rộng phạm vi phản xạ của những bề mặt này, trên cơ sở không sinh ra tiếng dội, đưa âm phản xạ tới phía trước để cải thiện điều kiện cảm thụ âm cho những chỗ ngồi gần bể nhạc



Hình 6 - 6. Xử lý trần

Có thể thiết kế trần gấp khúc hoặc lượn sóng, hiệu quả phản xạ của những loại trần này tương đối tốt, khuếch tán âm tốt, mỗi đoạn gấp nên lớn hơn 2m.Trần hoặc tường cong lồi, hiệu quả phản xạ và khuếch tán đều tốt, có khi tốt hơn mặt gấp khúc, vì diện tích bé nhưng có thể phản xạ trong phạm vi lớn. Đối với tường bên gần miệng sân khấu, xử lý phản xạ âm, nên rộng 5 – 6m và suốt chiều cao. Một số phương pháp xử lý như hình 6 - 6.

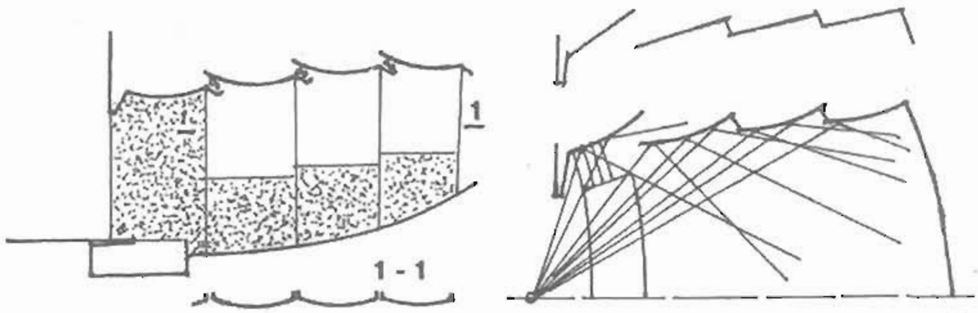
5.3. Tường hai bên

Tường bên đóng vai trò quan trọng trong việc phân bố trường âm trong phòng, khi thiết kế lưu ý mấy điểm sau đây:

- Tránh âm phản xạ men theo tường, tránh thiết kế tường gấp khúc với góc nghiêng quá lớn, đưa hết âm phản xạ ra sau, khu vực trước không có âm phản xạ, năng lượng âm mất nhiều trong khe tường (hình 6 - 7).

- Tường bảo vệ (từ nền đến cao độ 2,1m), nếu xử lý phản xạ âm, đưa âm phản xạ cho toàn bộ khu vực ngồi trong phòng, những bộ phận tường bên cao trên 2,1m, đưa âm phản xạ vào không gian trên đầu khán giả, phản xạ qua lại nhiều lần giữa tường và trần tạo thành âm vang, thường là bất lợi, do đó nên xử lý hút âm hoặc khuếch tán âm. Tường bảo vệ có thể bằng gỗ ván cứng hoặc trát vữa cứng.

Tường khuếch tán hoặc hút âm nên xử lý hình dáng bề mặt không quy luật, bố trí vật liệu hút âm không quy tắc hoặc cấu tạo mặt tường lồi lõm xen kẽ nhau (hình 6 - 7).



Hình 6 - 7

5.4. Trần

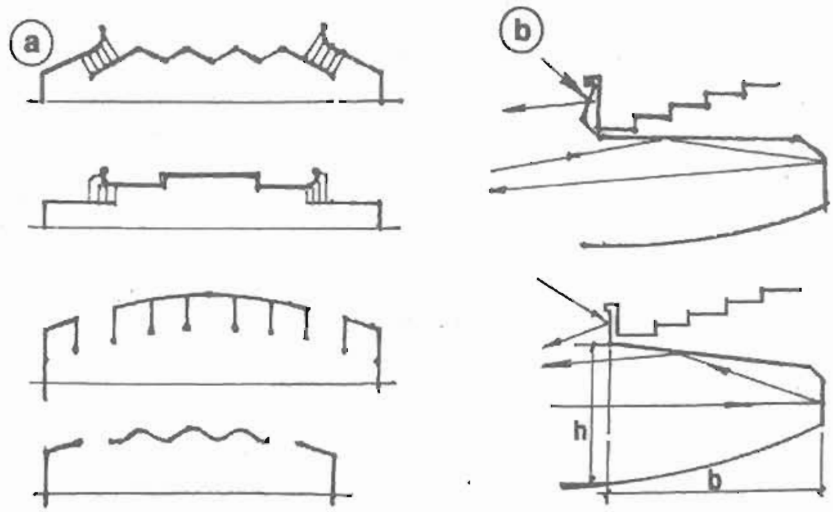
Toàn bộ trần đều đưa âm phản xạ đầu tiên xuống vùng chỗ ngồi, hiệu suất phản xạ cao, khi xử lý cần lưu ý:

- Chiều cao trần không nên quá cao, gây hiện tượng phản xạ kéo dài, dễ tạo thành tiếng dội. Chú ý bộ phận trần gần miệng sân khấu.

- Nên tận dụng khả năng phản xạ của trần, không nên xử lý hút âm quá nhiều.

- Cố gắng tránh thiết kế trần hình cầu, trần chỏm tròn vì dễ sinh tiêu điểm âm, trường âm không đều. Tỷ lệ chiều cao và chiều rộng của phòng nên 2 : 3.

5.5. Tường sau



Hình 6 - 8. a) Một số phương án xử lý tường sau; b) Trần ban công và tường sau xử lý không tốt, phản xạ kéo dài tạo tiếng dội ở những hàng ghế đầu

Tường sau dễ tạo nên tiếng dội, nguyên nhân có thể do âm phản xạ lần thứ hai từ trần tới tường sau hoặc phản xạ lần thứ hai từ tường sau đến trần ban công (hình 6 - 8).

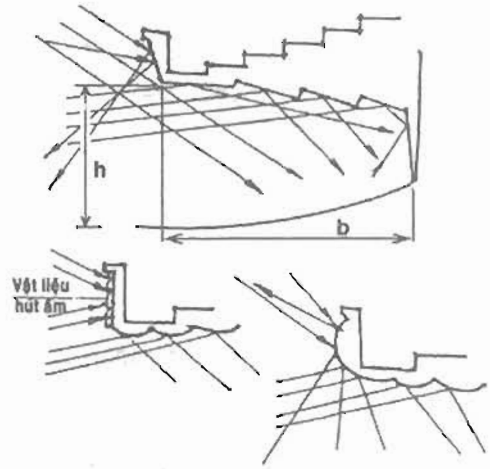
Mặt tường sau thường tương đối lớn, để khỏi đơn điệu, kiến trúc sử dụng mặt cong, nếu xử lý tâm cong phải ở sau sân khấu, tốt nhất nên xử lý khuếch tán để tránh tiêu điểm âm.

Mặt cắt tường sau thường có mấy phương pháp xử lý (hình 6 - 9):

- Nếu tường sau không cao lắm nên thiết kế nghiêng về phía trước để đưa âm phản xạ xuống vùng chỗ ngồi gần đó, đồng thời tránh được khả năng sinh tiếng dội.

- Nếu tường sau quá cao không nên xử lý nghiêng về phía trước, dễ tạo tiếng dội từ tường sau đến.

- Góc giao nhau giữa trần và tường sau nên tạo thành góc nghiêng, không nên để góc vuông nhằm tránh tiếng dội đồng thời tăng cường âm phản xạ cho vùng chỗ ngồi gần đó. Nếu do yêu cầu kiến trúc không cho phép làm góc nghiêng nên phủ vật liệu hút âm cao.



Hình 6 - 9. Xử lý trần ban công và tường sau

- Cần lưu ý trong những phòng lớn, nếu tường sau xử lý hút âm quá nhiều, khu vực ngồi dưới ban công sẽ nhận được mức âm không đủ.

5.6. Trần ban công, chiều sâu ban công

Ban công không nên quá sâu, ban công sâu hay nông ảnh hưởng rất lớn đến âm vang và cường độ âm dưới ban công. Ban công quá sâu mức âm dưới ban công sẽ không đủ, tốt nhất tỷ lệ **b/h** $\leq$ **2**. Nếu tỷ lệ **b/h** > **2**, không gian dưới ban công tính như một không gian riêng, ngẫu hợp với phòng khán giả, rất phức tạp.

Chiều cao **h** nên trong khoảng 2,3 – 2,4 m, < 3 m.

Trần ban công thiết kế thành mặt phản xạ âm, ngiêng ra phía trước, đưa âm phản xạ xuống khán giả theo hướng tia phản xạ từ trần lớn xuống vùng này (hình 6 - 8, hình 6 - 9).

5.7. Lan can ban công

Lan can ban công thường rất cao và gác suốt qua chiều rộng phòng, chiều cao lan can ban công có thể trở thành một mặt phản xạ, tạo nên tiếng dội ở vùng bể nhạc, do đó khi thiết kế cố gắng tạo thành một mặt phẳng gác suốt qua chiều rộng phòng, tránh làm thành mặt cong lõm trên phương chiều rộng phòng.

Mặt lan can ban công có thể thiết kế thành mặt khuếch tán âm, hoặc mặt nghiêng đưa âm phản xạ xuống khán giả ngay dưới nó. Nếu thiết kế thành mặt phẳng thẳng đứng nên phủ vật liệu hút âm cao (hình 6 - 9).

5.8. Độ dốc mặt nền

Nâng cao độ dốc mặt nền theo từng hàng ghế không những cần thiết đối với tia nhìn và cần thiết với cả yêu cầu âm thanh. Độ dốc mặt nền càng lớn, càng bảo đảm sóng âm trực tiếp tới người nghe, không bị tổn thất trên đường lan truyền qua đầu người.

Điểm nhìn kiến trúc thường lấy điểm giữa màn trước trên mặt sân khấu. Tia nhìn nằm trong mặt phẳng chứa điểm nhìn, tai và mắt của thính giả. Căn cứ vào tia nhìn để thiết kế độ dốc mặt nền cũng thỏa mãn được yêu cầu về âm thanh.

Xếp ghế không những nâng cao hàng ghế sau so với hàng ghế trước đồng thời xếp so le giữa các ghế với nhau, tạo thêm điều kiện thuận lợi để nhìn và nghe.

Thiết kế các bậc nhạc công cũng tương tự, bậc ngồi của các nhạc công đủ độ dốc phù hợp, bảo đảm âm của nhạc ống vượt qua nhạc dây.

• *Xác định độ dốc mặt nền*

Xác định độ dốc mặt nền có thể bằng phương pháp họa đồ (vẽ). Căn cứ vào những số liệu tiêu chuẩn đã biết:

- Khoảng cách giữa các hàng ghế **d** = 0,75 – 0,85m.
- Chiều cao từ tia nhìn đến mắt người ngồi trước **c** = 12cm
- Chiều cao người ngồi trên ghế **h'** = 1,1 ÷ 1,2 m
- Có thể xác định bằng công thức:

$$Y = \frac{c}{d}.X.\ln\frac{X}{a} + \frac{b+c}{a}X - c$$

Trong đó:

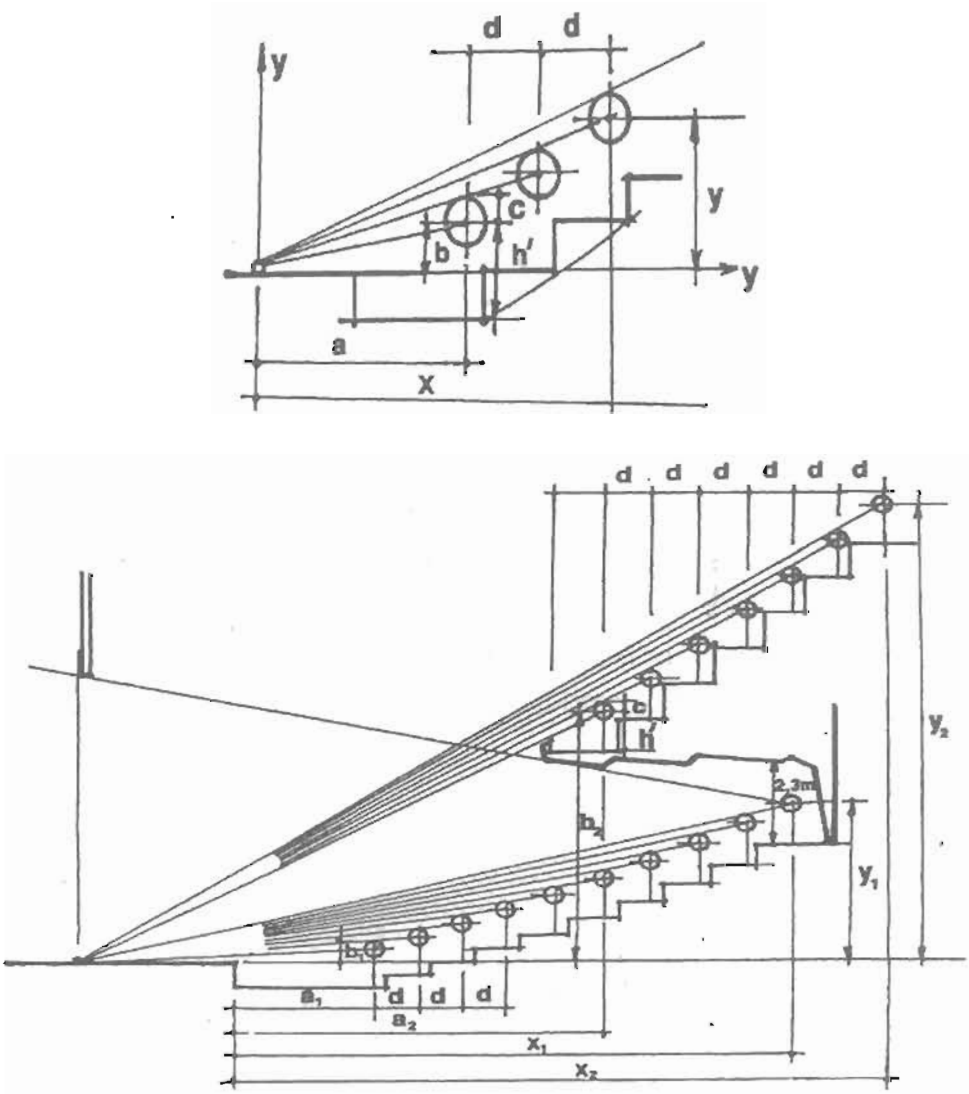
Y – độ dốc mặt nền cần nâng cao, tính từ mặt phẳng nằm ngang chứa điểm nhìn tại hàng ghế cách điểm nhìn (m).

a – khoảng cách từ điểm nhìn tới hàng ghế đầu (m).

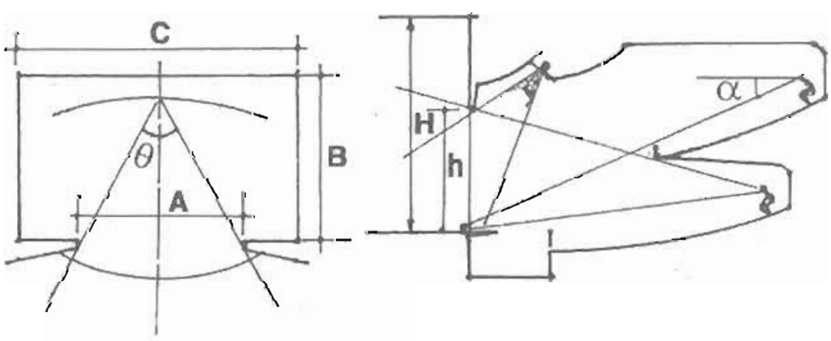
b – chiều cao từ mặt phẳng nằm ngang chứa điểm nhìn đến mắt khán giả đầu tiên (m).

X – khoảng cách từ điểm nhìn đến hàng ghế tính toán, (m)

Độ dốc với ban công cũng xác định bằng phương pháp tương tự (hình 6 - 10).



Hình 6 - 10. Xác định độ dốc bậc ngồi



Hình 6 - 11

• ***Kích thước miệng sân khấu.***

Thông thường **B = (1,5 ÷ 2) A và C = 2A**

Nói chung chiều rộng cần thiết của mặt sân khấu hình thành do chiều rộng của vùng biểu diễn. Vùng hoạt động của diễn viên ở hai phía sân khấu (sân khấu phụ), mỗi phía rộng 3 – 4m. Nếu nhà hát có đầy đủ các loại thiết bị, chiều rộng sân khấu lớn hơn chiều rộng của miệng sân khấu mỗi phía 6 – 6,5m. Nếu không có sân khấu phụ, ngoài điều kiện trên, chiều rộng của miệng sân khấu cộng thêm mỗi bên 3m.

Chiều cao của sân khấu, từ mặt sân khấu tới dạ dưới của trần sân khấu, thông thường như sau:

- Khi chiều sâu **B** không lớn lắm: **H = 2h + (2 ÷ 4)m**
- Khi sân khấu sâu: **H = 2h + (6 ÷ 8)m**

Sân khấu thông thường, kích thước miệng sân khấu **h/A = 1/1,5**

- Sân khấu hiện đại, kích thước miệng sân khấu **h/A = 1/2**

Quan hệ giữa sân khấu, miệng sân khấu, phòng khán giả có thể xác định theo hình vẽ chỉ dẫn (hình 6 - 12).

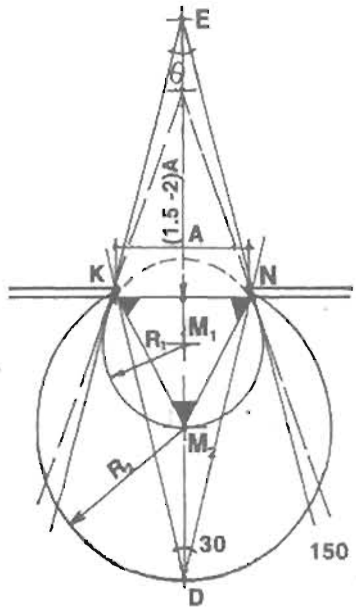
Tam giác **KNM₂** là tam giác đều. Vòng tròn ngoại tiếp với tam giác này có tâm **M_1**.

Vòng tròn **KND**, tâm **M_2**.

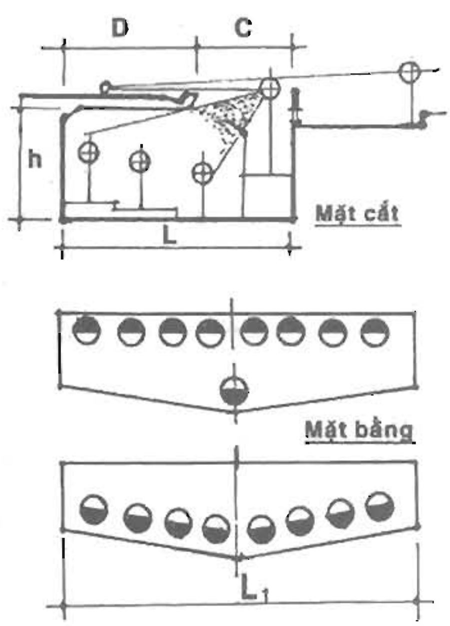
D là điểm ngồi của khán giả xa nhất.

KN là chiều rộng của miệng sân khấu.

E là điểm chân của màn trời trên mặt sân khấu. Khu vực ngồi của khán giả giới hạn trong vòng tròn **KND** tâm **M_2**.



Hình 6 - 12. Quan hệ giữa sân khấu và phòng khán giả



Hình 6 - 13. Mặt bằng, mặt cắt bể nhạc

5.9. Bể nhạc

Bể nhạc là một trong những nguồn âm chủ yếu trong phòng khán giả. Bể nhạc tốt hay xấu không những phụ thuộc vào hình dáng của bể mà còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nữa.

Vị trí của bể nhạc

Trước đây, trong các công trình biểu diễn không có bể nhạc, khi biểu diễn sử dụng bố cảnh rất đơn giản, đội nhạc thường bố trí hai bên sân khấu.

Do nghệ thuật sân khấu phát triển, trong sân khấu sử dụng nhiều thiết bị tiên tiến, bối cảnh của sân khấu biến đổi nhiều và phức tạp. Bố trí đội nhạc trên sân khấu ảnh hưởng tới hoạt động của diễn viên và việc thay đổi cảnh trí, phông màn ... âm nhạc không thoát ra ngoài, mất nhiều trong không gian sân khấu, hạn chế số lượng nhạc công, khán giả nhìn thấy nhạc công, ảnh hưởng tới cảm thụ không khí diễn xuất. Vì thế nên đặt bể nhạc giữa sân khấu và khán giả, như vậy bể nhạc gần hàng ghế đầu, công suất âm của nhạc cụ lớn hơn của diễn viên, nếu âm nhạc mạnh, khán giả ở hàng ghế đầu cảm thấy chói tai, tiếng nhạc át tiếng hát, thậm chí gây cảm giác ồn ào. Do khuyết điểm đó nên trong các công trình hiện đại, bể nhạc đặt ngay trước sân khấu.

Hình dáng bể nhạc

Hình dáng bể nhạc có tác dụng quyết định số lượng và chất lượng âm thoát ra ngoài.

- **Mặt bằng bể nhạc**

Diện tích bể nhạc phù hợp với sức chứa của phòng khán giả, thể loại diễn xuất.

Số lượng nhạc công phụ thuộc thể loại diễn xuất. Theo điều tra thường thấy 12, 15, 20 người. Theo yêu cầu hòa âm, quy mô đội nhạc có thể nhiều hơn.

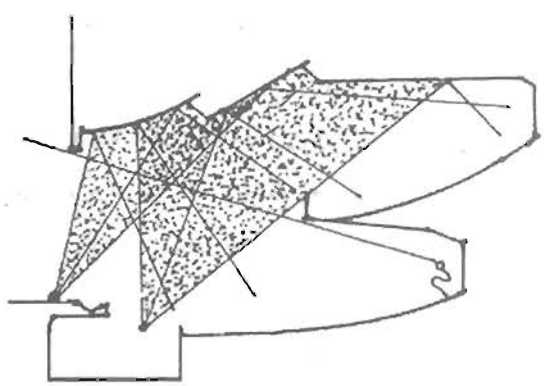
Cách bố trí đội nhạc, tùy theo chỉ huy và tập quán diễn xuất của đội nhạc, cách bố trí đội nhạc không giống nhau, thông thường có hai cách bố trí cơ bản (hình 6 - 13).

- Đối với đội nhạc dân tộc: đảm bảo tất cả nhạc công đều nhìn thấy diễn viên trên sân khấu.

- Đối với đội nhạc tân nhạc: chỉ huy nhìn thấy diễn viên trên sân khấu và nhìn thấy nhạc công, nhạc công nhìn thấy chỉ huy.

Do những yêu cầu đó bể nhạc không nên quá sâu, quá dài và hẹp. Thông thường **$L_1/L = 4/1 \div 5/1$**. Đối với đội nhạc dân tộc **$L_1/L = 2/1 \div 3/1$**.

Bể nhạc hẹp quá khó chỉ huy, các nhạc công khó nghe âm của nhau, trở ngại âm thanh thoát ra ngoài, có khi nghe âm lạc điệu do âm của một tần số nào đó bị hấp thu trong bể nhạc.



Hình 6 - 14. Thiết kế âm phản xạ

Chiều rộng **L** của bể nhạc có thể tham khảo số liệu sau:

- Nếu xếp hai hàng nhạc công **L = 4m**

- Nếu xếp ba hàng nhạc công **L = 5 ÷ 6m**.

Chỉ tiêu diện tích của bể nhạc có thể tham khảo số liệu sau:

- Đội nhạc thường: **0,8 ÷ 1m²/người**

- Đội nhạc hợp xướng: **0,25 ÷ 0,35m²/người**

• **Mặt cắt bể nhạc**

Ba kích thước cơ bản của mặt cắt bể nhạc: chiều sâu **h**, miệng mở **C** và phần khuất **D** (hình 6 - 13).

Chiều sâu **h ≤ 1,9 ÷ 2m**, không nên quá sâu, âm khó thoát ra ngoài, trở ngại cho hoạt động của chỉ huy và nhạc công. Khi biểu diễn, chỉ huy vừa theo dõi diễn viên vừa theo dõi nhạc công, nhạc công nghe âm của nhau để phối hợp hòa âm.

Bể nhạc quá sâu làm cho âm bị méo do một số tần số nào đó không thoát ra ngoài được.

Mặt nền bể nhạc không nên thiết kế bậc ngồi cố định, nên thiết kế bậc ngồi thay đổi được vì bố trí đội nhạc giao hưởng rất linh hoạt.

Miệng mở **C** lớn hay bé, các nhà âm nhạc rất quan tâm, nhưng kiến trúc sư thường coi nhẹ. Miệng mở quá bé, âm quẩn trong bể nhạc không thoát ra được, thông thường mong muốn miệng mở lớn, chiều sâu **D** bé, âm dễ thoát ra ngoài, thuận lợi lúc diễn tập và dễ khống chế hiệu quả.

Đối với nhà hát nhỏ và vừa **C ≥ 2,5 ÷ 3m**, nhà hát lớn **C≥ 4m**. Tỷ số **C/D** càng lớn càng tốt, nhỏ nhất là **3/1**.

Trên cơ sở đảm bảo chất lượng âm, cố gắng thu nhỏ miệng mở **C**, miệng mở quá lớn không kinh tế, khoảng cách nhìn và nghe càng xa.

Khi **C** < L/2 kiểu kín một nửa. Tuy rút ngắn được khoảng cách nhìn nhưng chất lượng âm tương đối kém. Để cho nhạc công nhìn thấy chỉ huy không bị môi sân khấu che khuất, cấu tạo mặt nền thấp hoặc tạo bậc thang thấp dần vào trong, âm khó thoát ra ngoài.

Khi **L ≈ C** kiểu mở, chất lượng âm tốt, chỉ huy, nhạc công đều không bị che khuất, dễ bố trí đội nhạc nhưng tăng thêm khoảng cách nhìn của khán giả.

Khi $C > \frac{3}{5}.L$ kiểu mở một cửa, chiều rộng miệng mở không nhỏ hơn 2,5 ÷ 3m, thực tế thường sử dụng $C > \frac{3}{5}.L$ để tránh khuyết điểm tương tự loại kín một nửa. Thiết kế thường chọn:

$$C \approx \frac{3}{5}.L$$

• **Lan can bể nhạc**

Trong những nhà hát lớn, lan can bể nhạc tốt nhất nên làm bằng vật liệu có tính phản xạ mạnh để phản xạ âm cho diễn viên trên sân khấu. Trong nhà hát nhỏ và vừa, khi miệng mở của bể nhạc bé, lan can bể nhạc nên làm rỗng, xuyên âm để bổ sung cho chiều rộng của miệng mở bé.

Trang âm cho bể nhạc

Sử dụng vật liệu trang âm trong bể nhạc không hợp lý, chất lượng âm sẽ không tốt.

Bể nhạc trước sân khấu, gần thính giả hơn diễn viên, công suất âm lớn hơn diễn viên, tiết tấu của âm nhạc tương đối nhanh. Muốn cho độ to phù hợp, âm tiết rõ ràng, nên bố trí vật liệu hút âm trong bể nhạc nhiều hơn trong phòng khán giả, phạm vi tần số hút âm đủ rộng.

Nền bể nhạc nên làm bằng gỗ mềm hoặc đệm cao su để cách âm va chạm.

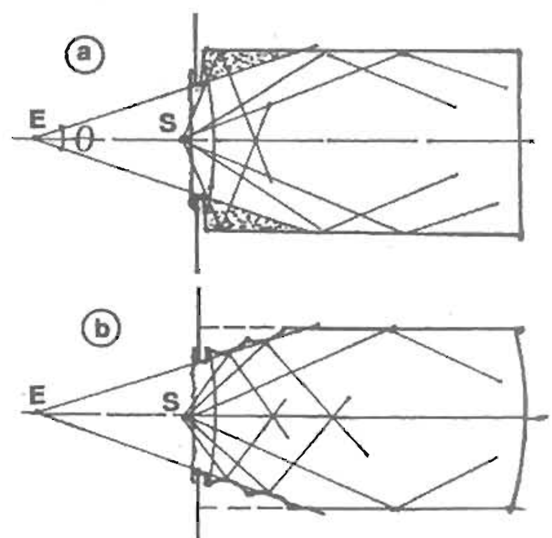
Tường bể nhạc phủ toàn thảm không hợp lý, vì như vậy âm tần số cao bị hấp thu quá nhiều, âm thoát ra ngoài chứa nhiều thành phần tần số thấp nghe trầm mất thật.

Trên nguyên tắc bảo đảm đặc tính tần số của thời gian âm vang, cố gắng trang âm bằng bản mỏng hợp lý để hút âm tần số thấp.

6. Phân tích một số hình dáng phòng thường thấy

6.1. Hình dáng mặt bằng

+ Mặt bằng hình chữ nhật



Hình 6 - 15

Đặc điểm âm thanh của mặt bằng hình chữ nhật: năng lượng âm phân bố tương đối đều, khu vực trống không có phản xạ phía trước nhỏ nhất (hình 6 - 15a).

Khi chiều rộng phòng lớn, cấu trúc âm phản xạ và âm trực tiếp ở những hàng ghế đầu không đạt yêu cầu, dễ hình thành hiện tượng nhiễu của âm vang, thậm chí, tạo thành tiếng dội.

Trong toàn phòng, sóng âm phản xạ chồng chéo lên nhau, có lợi cho độ phong phú của chất lượng âm.

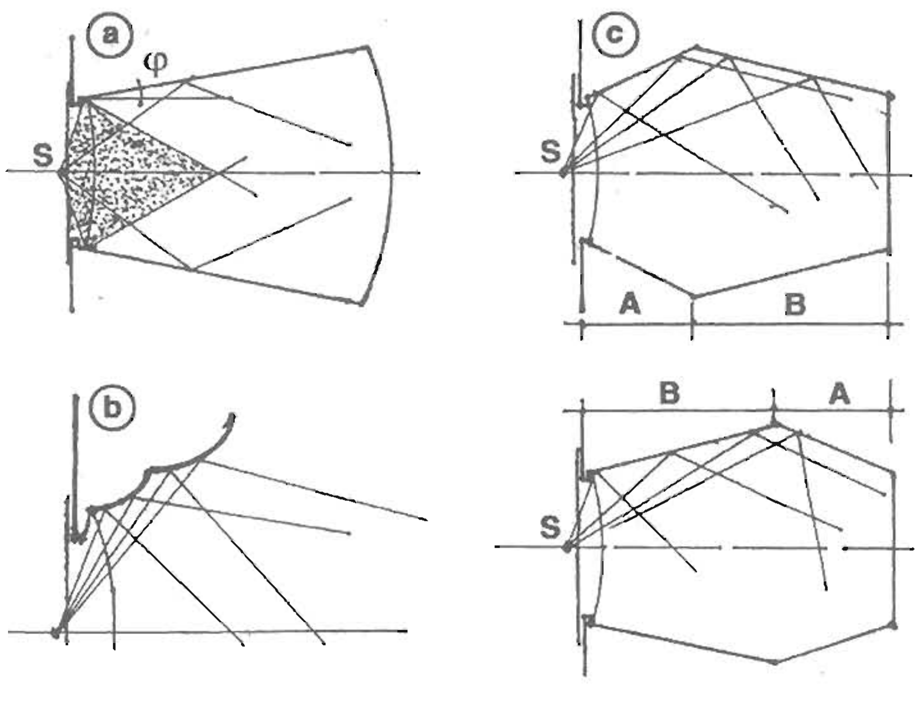
Khu vực ngồi nằm ngoài góc nhìn ở phía trước khá lớn, ở đây âm tần số cao rất yếu, phòng càng lớn, vùng này càng rộng.

Kết cấu và thi công mặt bằng hình chữ nhật đều đơn giản, không gian quy chỉnh. Do ưu điểm này nên thực tế thường sử dụng khi quy mô nhỏ và vừa.

Khắc phục khu vực ngồi nằm ngoài góc nhìn ở phía trước, sát sân khấu, đồng thời rút ngắn cự ly phản xạ, xử lý chiếu sáng mặt, thiết kế xử lý phần này thành hình quả chuông (hình 6 - 15b).

+ Mặt bằng hình quạt

Hiệu quả âm vang của loại mặt bằng này phụ thuộc góc φ tạo thành giữa tường bên với trục dọc của phòng. Góc φ càng lớn, vùng trắng không có phản xạ phía trước càng rộng (hình 6 - 16a).



Hình 6 - 16. Mặt bằng hình quạt và biến hình của nó

Thực tế cho phép góc $\varphi \leq 22^0$, tốt nhất là $\varphi = 8 \div 10^0$.

Loại mặt bằng này tường sau tương đối rộng, để tránh đơn điệu, kiến trúc thường xử lý cong, khi đó chú ý tâm cong nằm xa sau sân khấu để tránh tiêu điểm âm hoặc tiếng dội rơi trên sân khấu, có thể xử lý khuếch tán âm trên mặt tường này

Đặc điểm nổi bật của mặt bằng hình quạt bảo đảm góc nhìn nằm ngang tốt. Trong điều kiện cùng khoảng cách nhìn xa nhất, loại mặt bằng này chứa nhiều khán giả nhất, nhưng chỗ ngồi lệch tương đối nhiều. Tuy vậy do yêu cầu của các thể loại biểu diễn, do tâm lý, có khi thích ngồi "lệch hơn xa" hoặc " xa hơn lệch" do đó mặt bằng hình quạt không mất tính chất của loại mặt bằng tương đối tốt.

Do góc lệch φ kết cấu và thi công đều phức tạp.

Từ những ưu điểm về nhìn và nghe, mặt bằng hình quạt thường áp dụng cho nhà hát lớn và vừa. Góc φ càng lớn càng chứa nhiều khán giả nhưng có nhiều thiếu sót về chất lượng âm. Để khắc phục thiếu sót này thường xử lý khuếch tán trên hai mặt tường bên (hình 6 - 16b).

+ Mặt bằng hình lục giác

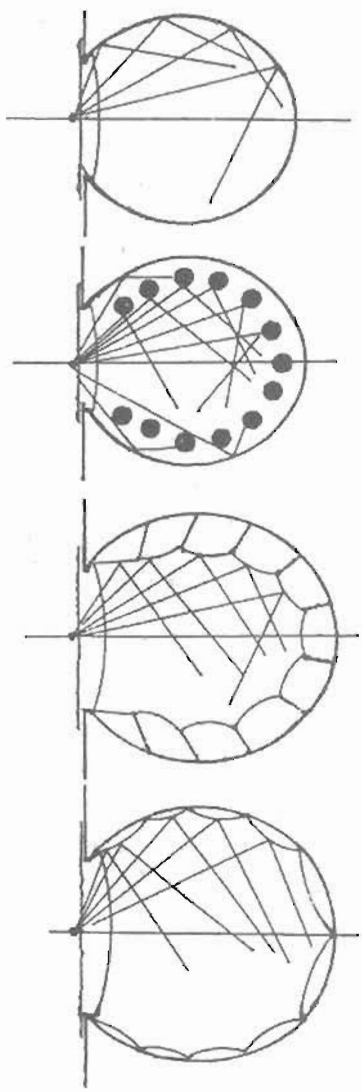
Dạng biến hình của mặt bằng hình quạt cắt bỏ hai góc lệch phía sau (hình 6 - 16c).

Trường âm trong phòng tương đối đều, tăng cường mức âm cho khu vực ngồi ở giữa.

Căn cứ tỷ lệ giữa phần trước và sau khác nhau, có thể chia làm hai loại:

- Nửa phía trước ngắn, nửa phía sau dài.
- Nửa phía trước dài, nửa phía sau ngắn.

So với mặt bằng hình quạt cùng thể tích, mặt bằng này bỏ nhiều chỗ ngồi lệch, tăng nhiều chỗ ngồi ngay. Kết cấu và thi công phức tạp giống mặt bằng hình quạt.



Hình 6 - 17

Về nghệ thuật kiến trúc đây là loại mặt bằng có hình thức kiến trúc mới, trường âm tương đối đều, khoảng cách nhìn xa nhưng ngay, thích hợp với phòng hòa nhạc. Đối với nhà hát, thích hợp cho loại vừa và nhỏ, vì không cho phép cự ly nhìn quá xa.

+ Mặt bằng hình bầu dục

Mặt bằng hình bầu dục, hình móng ngựa có cùng đặc điểm âm thanh (hình 6 - 17).

Do tường cong âm phản xạ men theo tường, dễ tạo tiêu điểm âm, trường âm không đều.

Loại mặt bằng này rất phổ biến đối với các nhà hát ở nước ngoài (nhất là những nhà hát cổ điển). Những thiếu sót về chất lượng âm trên đây khắc phục bằng cách tạo thành những lô xung quang tường, tường ngăn và lan can của các lô thiết kế những phù điêu lớn hoặc xử lý thành mặt cong lồi khuếch tán âm.

So với mặt bằng hình quạt, loại mặt bằng này có ưu điểm lớn về nhìn, không có chỗ ngồi lệch và xa, toàn bộ chỗ ngồi đều nằm trong góc nhìn tốt.

Loại mặt bằng này kết cấu và thi công rất phức tạp, trình độ thi công yêu cầu kỹ thuật cao. Về mặt kiến trúc có phong cách độc đáo và được thừa nhận có phong cách tươi trẻ và khỏe.

Do ưu điểm về nhìn và phong cách kiến trúc độc đáo, nhiều người thích dùng loại mặt bằng này.

Có thể xử lý nửa trước của tường bên thẳng và thiết kế cột đường kính lớn (đến 50cm) tạo thành lối đi dọc tường sau tăng độ khuếch tán âm, hoặc tạo mặt cong lồi quanh tường cong (hình 6 - 17).

6.2. Hình dáng mặt cắt

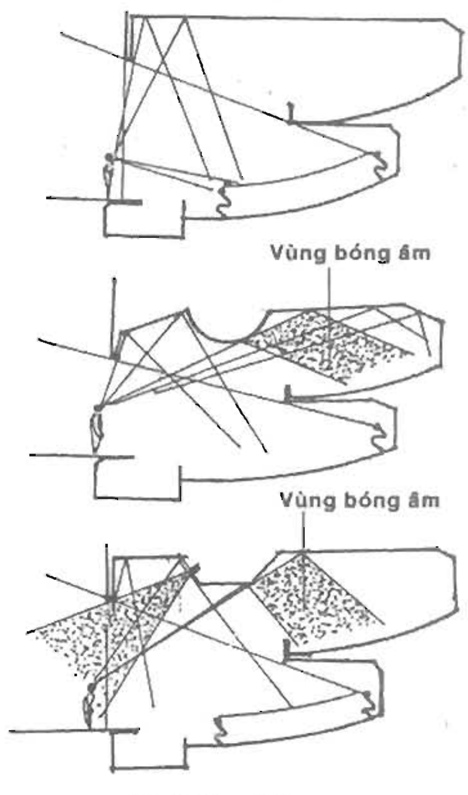
+ Trần phẳng

Hình 6 - 18 dạng trần thường thấy.

Trần phẳng, vì muốn bảo đảm chiều cao phía sau nên trần phía trước rất cao, không có lợi về chất lượng âm, dễ sinh tiếng dội ở vùng chỗ ngồi phía trước. Mặt trần quá cao so với miệng sân khấu, cự ly âm phản xạ ra phía sau lớn, dẫn tới mức âm ở phía sau không đủ to.

Khi nguồn âm di động trước sau, khó bảo đảm giữ cho trường âm phân bố đều.

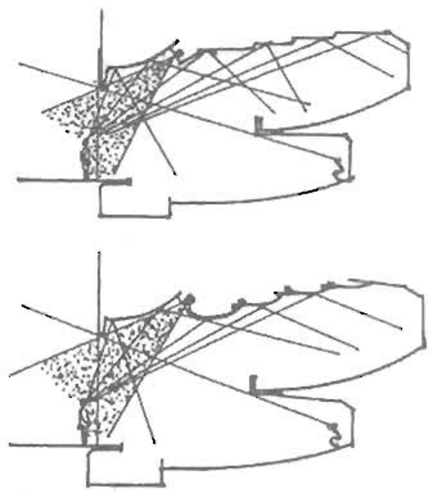
Do những đặc điểm đó, khi thiết kế nếu sử dụng trần phẳng, nên sử dụng tường hai bên gần miệng sân khấu để phản xạ âm ra phía sau. Khi độ cao giữa trần và miệng sân khấu chênh lệch quá lớn, tốt nhất nên thay trần phẳng thành trần gãy để giảm cự ly phản xạ.



Hình 6 - 18

+ **Trần gãy, trần lượn sóng**

Loại trần này phản xạ âm linh hoạt, có thể đưa âm phản xạ đến vùng yêu cầu, có lợi cho việc tạo thành trường âm khuếch tán tốt (hình 6 - 19).



Hình 6 - 19

Có hai loại trần lượn sóng:

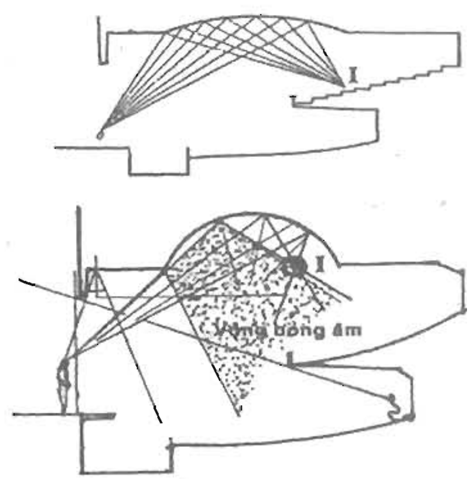
- Trần miệng đèn hướng về nguồn âm, trường hợp này năng lượng âm bị mất nhiều trong lỗ đèn.

- Trần miệng đèn hướng về khán giả, trường hợp này nếu xử lý không khéo sẽ gây ảnh hưởng tới thị giác khán giả.

Để giảm bớt tổn thất năng lượng âm, cố gắng rút bé lỗ đèn trên cơ sở bảo đảm yêu cầu thông gió và chiếu sáng tốt (nên bịt các lỗ đèn bằng vật liệu trong suốt).

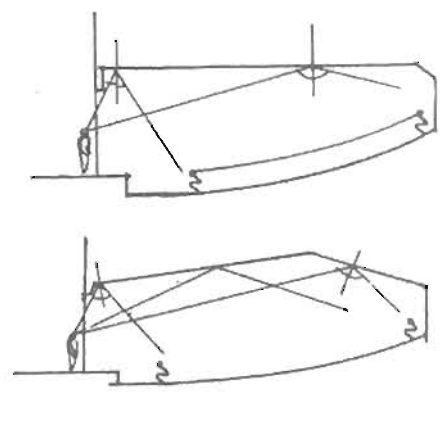
+ **Trần chỏm tròn lồi hoặc lõm**

Trần cong lồi thường tạo từ trần phẳng, xử lý chỏm cong lồi để trần khỏi đơn điệu. Nói chung các mặt cong lồi có lợi để tạo nên trường âm khuếch tán, nhưng nếu chỉ thiết kế một mặt cong lồi đơn độc lớn sẽ mất tác dụng khuếch tán âm, ngược lại dễ tạo thành bóng âm (hình 6 - 18).



Hình 6 – 20

Trần chỏm tròn (hình 6 - 20) thường thấy trong các giảng đường kiêm biểu diễn. Loại trần này dễ tạo nên tiêu điểm âm. Tiêu điểm âm không rơi trên vùng chỗ ngồi, cũng gây ảnh hưởng không lợi, năng lượng âm phân bố không đều. Khi thiết kế cố gắng tránh sử dụng loại trần này. Nếu do yêu cầu tạo hình kiến trúc, bắt buộc phải sử dụng, nên đặt bán kính cong lớn hơn hai lần chiều cao phòng, để tiêu điểm âm nằm sâu dưới vùng chỗ ngồi hoặc hình thành trên cao khuếch tán xuống khán giả.



Hình 6 - 21

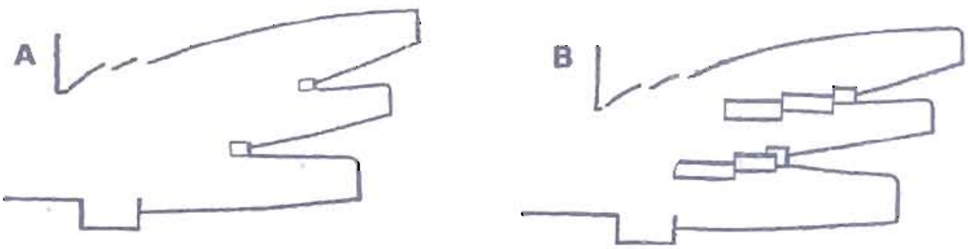
+ **Mặt cắt không có ban công**

Phòng khán giả không có ban công sẽ không có hiện tượng mức âm giảm yếu và thời gian âm vang ngắn dưới ban công.

Cũng do không có ban công diện tích mặt bằng tăng lên, cự ly nhìn xa hơn, thể tích phòng lớn hơn. Do đó loại mặt cắt này không thể áp dụng cho công trình vừa và lớn (hình 6 - 21).

+ Mặt cắt có một hoặc hai ban công

Loại mặt cắt này có hai cách xử lý (hình 6 - 22). Cách xử lý như hình 6 - 22b có nhiều ưu điểm hơn, tuy cự ly nhìn xa như nhau nhưng có thể kéo dài ban công, tăng được chỗ ngồi gần nguồn âm và giảm chỗ ngồi xa dưới ban công. Do ưu điểm này nên thường được áp dụng trong thực tế, nhất là đối với mặt bằng hình bầu dục, lục giác, ... phần ban công kéo dài thêm phía trước tương đối rộng, tăng được số chỗ ngồi gần. Tuy vậy ban công sẽ lớn, độ dốc mặt nền cao, phải nâng cao trần nhưng tổng thể tích bé.



Hình 6 - 22

+ Mặt cắt hai hoặc nhiều ban công

Cách xử lý ban công cũng tương tự như trên, nhiều trường hợp còn mở rộng về hai phía tường bên tạo cảm giác phong phú về kiến trúc, chứa được nhiều khán giả. Do các ban công, bao lơn nằm dọc theo tường bên, chiếm nhiều diện tích phản xạ âm cho khán giả trên ban công, làm cho mức âm trong vùng này giảm yếu.

II. QUAN HỆ GẦN ĐÚNG GIỮA THỜI GIAN ÂM VANG (T), CÔNG SUẤT NGUỒN ÂM (W) VÀ THỂ TÍCH PHÒNG (V)

Thiết lập mối quan hệ gần đúng giữa **T**, **W** và **V** có thể giúp người thiết kế có khái niệm sơ bộ khi chọn thể tích phòng, diện tích sân khấu và các không gian phụ của sân khấu.

Chúng ta đã biết, năng lượng âm ở trạng thái ổn định bằng:

$$E = \frac{4W}{AC}$$

Khi $\overline{\alpha}$ bé ($\overline{\alpha} \leq 0{,}2$) có thể xác định giá trị của **A** từ phương trình âm vang của W. C. Sabin:

$$A = S.\overline{\alpha} = \frac{0{,}16V}{T}$$

Vì rằng: $I = E.C \rightarrow W = 0,04.\dfrac{V.I}{T}$

Nếu mức cường độ âm trung bình trong phòng 60dB có thể xác định được cường độ âm **I**.

Với: $L_I = 60dB \rightarrow$ Xác định ngay được $I = 10^{-6}$

Do đó nếu: $L_I = 70dB \rightarrow I \approx 10^{-5}$

Như vậy: $W = 0,04\dfrac{V}{T}.10^{-6} \div 0,04.\dfrac{V}{T}.10^{-5}$, Watt

Hay là: $W = 0,04\dfrac{V}{T} \div 0,4.\dfrac{V}{T}$, μ Watt

Thực tế, nếu biết được sức chứa, có thể căn cứ vào chỉ tiêu thể tích mỗi chỗ ngồi, xác định được thể tích phòng **V (m³)**, sau đó tra biểu đồ hoặc bằng công thức Clavin tính được thời gian âm vang tối ưu của tần số 500Hz. Biết **V**, **T**, xác định được công suất âm **W** bằng biểu thức trên (tần số 500Hz).

Đối với phòng nói chuyện, công suất âm nói chuyện bình thường của người khoảng 50 μWatt, căn cứ này có thể xác định có cần hệ thống điện thanh hay không.

Đối với phòng biểu diễn, công suất âm của diễn viên trung bình 300 μWatt. Từ đó xác định số lượng diễn viên của đội hợp xướng trên sân khấu, hoặc xác định trong phòng có cần hệ thống điện thanh hay không.

Các phòng khán giả của ta hiện nay thường sử dụng đa chức năng, vừa thỏa mãn yêu cầu biểu diễn, vừa yêu cầu độ rõ cao khi hội họp nói chuyện. Hai yêu cầu này mâu thuẫn nhau, có mấy biện pháp xử lý:

1. Thiết kế thỏa mãn yêu cầu chủ yếu nhất.

Cách giải quyết này không phải tốt nhất, vì yêu cầu biểu diễn và nói chuyện đều quan trọng như nhau, chất lượng âm đều không được quá kém.

2. Chọn thời gian âm vang trung bình. Như vậy khi biểu diễn thời gian âm vang sẽ ngắn, khi nói chuyện thời gian âm vang sẽ dài, kết quả yêu cầu nào cũng không đạt. Tuy nhiên không có hiệu quả nghiêm trọng nhưng không phải là giải pháp tốt.

3. Sử dụng kết cấu và vật liệu hút âm di động.

Thực tế việc sử dụng vật liệu và kết cấu hút âm này phức tạp, khó thực hiện. Trong những phòng khán giả lớn, tác dụng hút âm chủ yếu từ khán giả, lượng hút âm cố định không nhiều,

do đó sử dụng mặt hút âm di động không đáng kể, vì vậy hiệu quả cũng không cao, không đem lại sự thay đổi rõ ràng, nên thực tế ít dùng.

4. Chọn thời gian âm vang ngắn nhất, sử dụng nhiều vật liệu hút âm, khi cần thời gian âm vang dài sử dụng thiết bị âm vang nhân tạo bằng điện thanh. Biện pháp này hiện nay được áp dụng rộng rãi, tuy nhiên với điều kiện kỹ thuật hiện đại, chưa đảm bảo tính chất thật của âm, thiết bị phức tạp.

5. Chọn thời gian âm vang theo yêu cầu biểu diễn, tức là thiết kế theo thời gian âm vang dài nhất, bảo đảm độ phong phú của âm cao nhất, sử dụng vật liệu trang âm có khả năng phản xạ cao. Khi hội họp, nói chuyện dùng loa có tính định hướng mạnh hoặc sử dụng hệ thống loa hoàn toàn phân tán để mọi chỗ ngồi đều nhận được âm trực tiếp từ loa đến. Vì cường độ âm của loa lớn hơn nhiều so với âm vang nên trong điều kiện thời gian âm vang dài vẫn có thể đảm bảo độ rõ cao. Thông thường khi hội họp, nói chuyện, chiếu phim thường dùng hệ thống tăng âm, do đó giải pháp này tương đối tốt, có tính hiện thực, thi công và thiết bị đều đơn giản.

III. THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM CÁC PHÒNG KHÁN GIẢ THEO MỤC ĐÍCH SỬ DỤNG

Những quá trình vật lý của phản xạ, hấp thu và khuếch tán năng lượng âm quyết định chất lượng âm trong phòng, nhưng những quá trình này trên mức độ rất lớn phụ thuộc vào giải pháp kiến trúc của phòng.

Phòng chất lượng âm tốt khi đạt được những điều kiện sau:

- Tất cả mọi chỗ ngồi đều nhận được mức âm to xấp xỉ như nhau.

- Trường âm trong phòng đạt được mức độ khuếch tán nhất định, loại trừ những khả năng sinh ra hiện tượng tiếng dội, tiêu điểm âm ...

- Khi phòng chứa đầy khán giả, thời gian âm vang xấp xỉ thời gian âm vang tối ưu.

Những điều kiện này đảm bảo thỏa mãn khi chọn những giải pháp kiến trúc hợp lý: kích thước, hình dáng phòng, trang âm, nội ốc ... phù hợp với mục đích sử dụng của phòng.

Cuối cùng, chất lượng âm trong phòng khán giả không thể chỉ đánh giá căn cứ vào những tiêu chuẩn vật lý mà chủ yếu đánh giá từ hiệu quả cảm thụ âm chủ quan của nhiều người, nhất là đối với các phòng biểu diễn âm nhạc.

Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng âm trong các phòng về mặt tâm lý như sau:

- Đối với những phòng yêu cầu độ rõ: giảng đường, phòng họp, .. chất lượng âm đánh giá bằng chỉ tiêu độ rõ âm tiết, mọi chỗ ngồi đều nghe thoải mái, độ rõ âm tiết như nhau.

- Đối với các phòng biểu diễn: hòa nhạc, ca vũ nhạc,... chất lượng âm đánh giá bằng những chỉ tiêu tâm lý như sau:

+ Mức độ tự nhiên của âm thanh cảm thụ so với ngoài trời.

+ Âm thanh nghe sáng sủa, hiểu được rõ ràng theo thứ tự không gian của nguồn âm, âm không bị méo, truyền cảm mạnh mẽ.

+ Âm hài hòa cân đối và tính lập thể phân bố đều khắp trên toàn vùng chỗ ngồi. Âm thanh của từng nhóm nhạc cụ khác nhau bố trí trong dàn nhạc nghe êm tai, có sức biểu hiện cao, thính giả cảm thụ đầy đủ, rõ ràng không bị tổn thất.

1. Thiết kế chất lượng âm rạp chiếu phim

1.1. Đặc điểm riêng

Hiệu quả âm thanh trong rạp chiếu phim là kết quả đồng thời của hai trường âm: trường âm khi quay phim và trường âm trong rạp chiếu phim.

Khi quay phin, kỹ sư âm thanh đã ghi những hiệu quả âm thanh thỏa mãn những yêu cầu khác nhau của phim trường. Khi chiếu phim chỉ cần phản ánh đủ kết quả đã ghi âm lúc quay phim. Vì vậy, yêu cầu thời gian âm vang của rạp chiếu phim đủ ngắn, thường từ 0,8 ~1,2 giây (bằng 2/3 thời gian âm vang lúc dựng phim).

Nguồn âm lúc chiếu phim là loa, công suất âm có thể qua máy khuếch đại tăng lên đủ to, mức âm trực tiếp đến thính giả đủ lớn, bảo đảm được độ rõ, do đó không cần nhiều mặt phản xạ để tăng cường mức âm trong phòng. Nếu sử dụng loa không định hướng, mức âm trực tiếp sẽ không đủ cho những khoảng cách xa.

Muốn đảm bảo trường âm đều đặn, mức âm yêu cầu trong phòng không chênh lệch quá 3dB, cần thiết kế một số mặt phản xạ để tăng cường mức âm trực tiếp cho phía sau, trừ trường hợp dùng loa định hướng mạnh, đủ đảm bảo trường âm đồng đều.

1.2. Thể tích phòng

Chỉ tiêu thể tích mỗi chỗ ngồi trong rạp chiếu phim thường lấy bằng 3 – 4m^3/người. Chỉ tiêu thể tích bé, thời gian âm vang ngắn, xử lý hút âm ít. Tổng thể tích phòng nhỏ, tiết kiệm vốn xây dựng, trần nhà thấp có lợi để đưa âm phản xạ tăng cường cho âm trực tiếp phía sau.

1.3. Hình dáng phòng

Theo tổng kết, tỷ lệ tốt nhất giữa các kích thước phòng:

Cao x rộng x dài = 1 x 2,5 x (3 ÷ 3,5)

Nếu phòng quá dài, mức âm ở phía trước và sau phòng không đồng đều, xuất hiện sự chênh lệch giữa nghe và nhìn. Nếu ngồi xa màn ảnh quá 34 mét, thời gian chênh lệch giữa nghe và nhìn khoảng 0,1 giây. Phòng không nên dài quá 30mét, nếu yêu cầu sức chứa, có thể thiết kế phòng dài tới 40mét, khi đó tận dụng trần để phản xạ âm ra phía sau, đồng thời điều chỉnh máy chiếu để âm phát ra trước hình một ít.

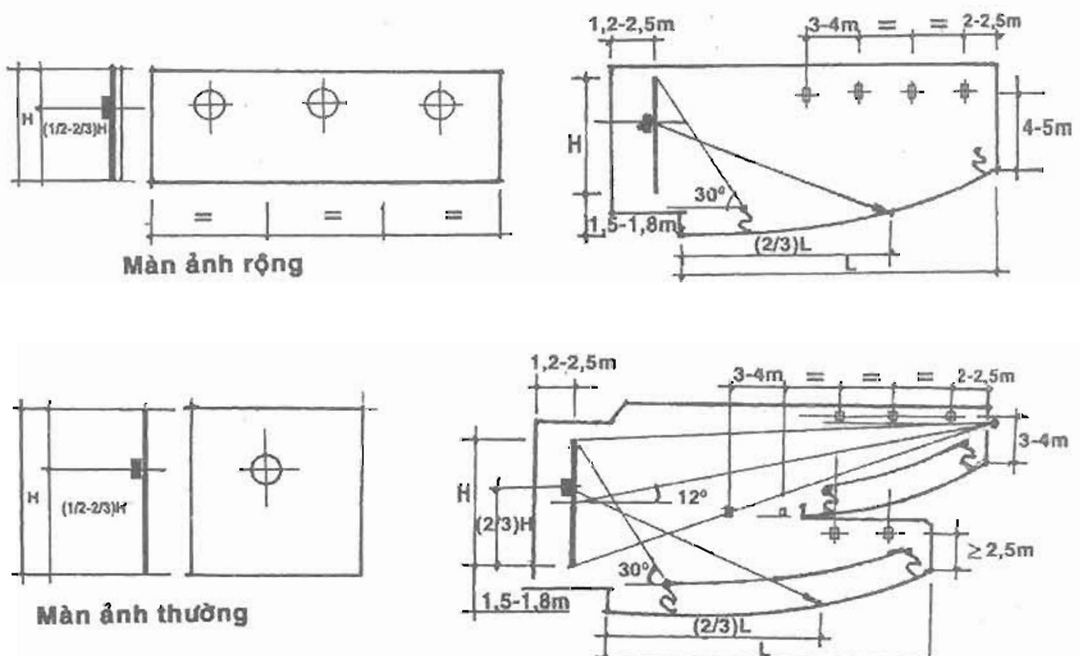
Phòng không nên quá rộng, vì ở tần số cao, tính định hướng của loa trên mặt phẳng nằm ngang tương đối hẹp khi đó thính giả ngồi hai phía màn ảnh sẽ nghe không rõ, hơn nữa khi phòng quá rộng, dễ xuất hiện hiện tượng nhiễu loạn của âm phản xạ.

1.4. Trang âm

Do những đặc điểm như trên, trong rạp chiếu phim vừa yêu cầu phản xạ (tuy không nhiều), vừa yêu cầu hút âm, khi thiết kế chọn giải pháp xử lý hợp lý. Thông thường trần phía trước là mặt phản xạ cứng, tường sau xử lý hút âm, nhưng không nên quá nhiều, nên thiết kế mặt tường này nghiêng về phía trước một ít để phản xạ âm xuống khán giả gần đó.

Trong một số rạp chiếu phim sử dụng nhiều nhung, thảm ... để hút âm vừa không kinh tế vừa không tốt, vì âm tần số trung và cao bị hấp thu nhiều, làm giảm độ rõ.

1.5. Vị trí của loa phát âm



Hình 6 - 23

Các loa phát âm đặt sau màn ảnh, ở độ cao bằng 1/2 ÷ 2/3 chiều cao màn ảnh. Âm lập thể có thể bố trí thành 2, 3 hoặc 5 cụm loa tuỳ chọn theo mạch âm trong phim. Trường hợp thông thường bố trí loa như (hình 6 - 23).

Xử lý hút âm lân cận loa phát âm, nếu có sân khấu, thiết kế phân cách sân khấu với loa và xử lý hút âm trong sân khấu để thời gian âm vang trong sân khấu không quá dài, gây nhiễu loạn nguồn âm. Nếu không có sân khấu, lân cận loa cũng xử lý hút âm nhưng không cần nhiều.

Một số rạp chiếu phim trước đây của ta xử lý hút âm quá nhiều, thời gian âm vang ngắn, nghe tương đối rõ nhưng khô, kém phong phú.

Qua tổng kết cho thấy, thời gian âm vang trong rạp tương đối dài nhưng âm trực tiếp tương đối mạnh nên nghe vẫn rõ, độ phong phú cao, chất lượng âm tốt hơn so với trường hợp xử lý hút âm nhiều. Nếu dùng loa định hướng, tăng cường âm trực tiếp cho khán giả, thời gian âm vang tương đối dài vẫn đảm bảo đủ độ rõ và độ phong phú. Trường hợp này, cũng có thể xử lý hút âm trên trần, tường hai bên xử lý phản xạ. Khi đó cường độ âm phản xạ từ hai bên tường sẽ giảm yếu liên tục cho nên không gây nhiễu loạn độ rõ, tăng được độ phong phú.

Đối với rạp chiếu phim màn ảnh rộng, ngoài thoả mãn những yêu cầu của rạp chiếu phim màn ảnh thường, còn thỏa mãn một số yêu cầu khác như:

Đảm bảo cảm giác lập thể: thoả mãn cảm giác lập thể nhờ ba nhóm loa sau màn ảnh và một số loa hiệu quả đặt trên trần, tường bên và tường sau.

Các loa hiệu quả này bố trí cách nhau 3 – 4 mét trên mặt phẳng nằm ngang. Loa đặt trên tường trên ban công cao ≥ 3m, dưới ban công cao ≥ 2,5m.

Để đảm bảo cảm giác lập thể, thời gian âm vang không nên dài hơn so với phòng chiếu phim màn ảnh thường. Thời gian âm vang đủ ngắn, thể tích phòng bé, giảm được chiều cao trần, tạo tỷ lệ bên ngoài công trình xấp xỉ tỷ lệ dài và rộng của màn ảnh rộng, đem lại hiệu quả nghệ thuật kiến trúc tương đối hài hòa.

Muốn có cảm giác phương vị tốt trên toàn khu vực ngồi, thường tránh âm phản xạ sau âm trực tiếp 5mS, những âm phản xạ này làm thay đổi cảm giác phương vị. Hiện tượng này dễ nhận thấy, đối với những chỗ ngồi gần tường bên. Vì vậy cần nghiên cứu ý kiến cho rằng nên xử lý hút âm ở tường bên từ cao độ 2,1 mét trở xuống.

Trong rạp chiếu phim màn ảnh rộng, tránh âm phản xạ sau 35mS quá nhiều. Âm phản xạ này gây cảm giác không trơn tru, âm nghe rời rạc, lạc điệu.

2. Thiết kế chất lượng âm giảng đường, phòng họp

Giảng đường, phòng họp, câu lạc bộ loại nhỏ, yêu cầu giống nhau về chất lượng âm, chủ yếu đảm bảo độ rõ. Làm giảm độ rõ, trước tiên là mức ồn hoàn cảnh.

Giảng đường lớn hơn 100 chỗ ngồi phải xét tới chất lượng âm, giảng đường lớn sức chứa 500 – 600 chỗ ngồi .

2.1. Đặc điểm âm thanh

Yêu cầu độ rõ, độ rõ âm tiết A ≥ 85%, tốt nhất là 90%.

Trong loại công trình này, chủ yếu nghe khẩu âm, công suất âm của người tương đối bé, nói chuyện càng lâu công suất âm càng giảm. Do đó ngoài bảo đảm những yêu cầu chung của phòng khán giả còn chú ý lựa chọn thời gian âm vang hợp lý để đạt được độ rõ. Thể tích phòng bé, chỉ tiêu thể tích thường chọn trong khoảng 3 – 6m^3/người, công trình nhỏ nên lấy 3 – 4m^3/người.

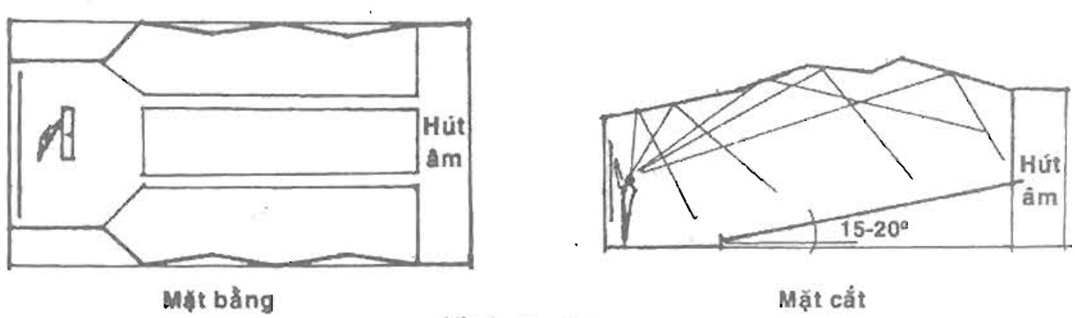
2.2. Hình dáng phòng

Ngoài các yêu cầu chung, chú ý tận dụng năng lượng âm trực tiếp, có thể bằng cách nâng cao độ dốc bậc ngồi, tận dụng âm phản xạ lần thứ nhất để tăng cường âm trực tiếp ở những hàng ghế cuối. Có thể giảm chiều cao trần để tránh những âm phản xạ đầu tiên tới những hàng ghế sau quá chậm.

Khoảng cách từ hàng ghế cuối tới bục giảng không nên vượt quá 26m, tỷ lệ (rộng x dài) của mặt bằng nên trong khoảng (1 x 1,5).

Theo tổng kết, độ rõ trong giảng đường kém, chủ yếu do âm phản xạ lần thứ nhất từ trần đến chậm, không có tác dụng tăng cường cho âm trực tiếp, gây nhiễu loạn, làm giảm độ rõ, lý do vì trần quá cao, độ nghiêng của trần không chính xác.

Độ dốc mặt nền đảm bảo không che lấp âm trực tiếp, thường thiết kế không nhỏ hơn 8^0, tốt nhất trong khoảng $15^0 – 20^0$. (hình 6 – 24).



Hình 6 - 24

2.3. Trang âm

Tường hai bên bục giảng, toàn bộ trần, nên xử lý cứng, nhẵn để phản xạ âm, những bề mặt còn lại nên xử lý hút âm cao hoặc khuếch tán âm.

Thực nghiệm kiểm tra một giảng đường, thể tích $V = 1580m^3$, sức chứa 360 chỗ ngồi, chỉ tiêu thể tích $M = 4,4m^3$/người. Toàn bộ trần xử lý cứng phản xạ âm, tường bên xử lý khuếch tán âm, tường sau hút âm, độ dốc bậc ngồi 20^0. Khi 100% thính giả có mặt T_{125} = 1,2 giây, $T_{500} = T_{2000}$ = 0,86 giây. Chất lượng âm tốt.

2.4. Chống ồn

Điều tra nghiên cứu những nguồn ồn hiện có và sẽ có theo quy hoạch, mức độ lan truyền tiếng ồn qua móng, qua không gian tự do vào phòng ... từ đó lựa chọn giải pháp xử lý tốt nhất đảm bảo mức ồn trong phòng 35 – 40dB.

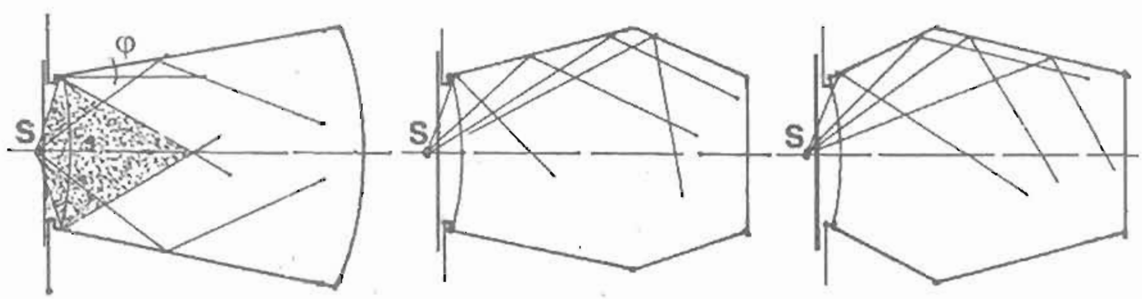
Nên đặt những công trình này trong khu vực yên tĩnh, hoặc áp dụng những giải pháp chống ồn trong thiết kế quy hoạch, giảm nhỏ mức ồn tới giá trị hợp lý cho phép.

Trong điều kiện khí hậu nước ta, mùa hè các cửa sổ đều mở để thông thoáng, chú ý chống ồn khi chọn vị trí giảng đường, phòng họp, ...

3. Thiết kế chất lượng âm phòng kịch nói

Phòng kịch nói lớn hay nhỏ đều có những đặc điểm chung: công suất nguồn âm bé, vì khẩu âm tự nhiên của người nhỏ, có khi tới mức thì thầm, do đó muốn nghe rõ tiếng nói của diễn viên phải chọn chỉ tiêu thể tích phòng bé, thời gian âm vang ngắn, đặc tính tần số bằng phẳng, khi phòng trống, thời gian âm vang đối với các giải tần số trong khoảng từ 1,5 – 1,8 giây, khi đầy người từ 0,8 – 1 giây, chỉ tiêu thể tích trong khoảng từ 4 – 4,5 m^3/người.

- Để tận dụng được năng lượng âm trực tiếp và âm phản xạ đầu tiên thường thiết kế tường bên nghiêng với trục dọc của phòng một góc từ 8 – 10^0 (hình 6 – 25).



Hình 6 - 25

Theo kinh nghiệm, độ rõ tiếng nói ở khu vực ngồi hai bên phòng khán giả phụ thuộc vào tỷ lệ các kích thước sau:

Tỷ lệ giữa chiều rộng phòng khán giả sát miệng sân khấu với chiều rộng miệng sân khấu (A).

Tỷ lệ giữa diện tích phòng khán giả với diện tích khu vực biểu diễn trên sân khấu (B).

Chỉ tiêu thể tích phòng (**M**).

Theo tổng kết, phòng khán giả kịch nói có chất lượng âm tốt khi:

$$\mathbf{M} = 4 \div 4{,}7 \text{ m}^3/\text{người}, \mathbf{B} = 3 \text{ và } \mathbf{A} = 0{,}7 \div 0{,}85$$

Tỷ lệ **B** là một chỉ tiêu khá quan trọng, giá trị của **B** lớn hay nhỏ sẽ gây trở ngại hay thuận lợi đối với hiệu quả biểu diễn và chất lượng âm kém hay tốt.

3.1. Phòng kịch nói cỡ nhỏ (sức chứa ≤ 500 người)

Phòng khán giả không có ban công. Độ dốc mặt nền có thể tương đối lớn. Toàn bộ trần nên làm bằng vật liệu cứng để phản xạ âm ra phía sau, trần không quá cao tạo âm phản xạ đầu tiên đến chậm, tường hai bên thiết kế không song song, xử lý tường bảo vệ (từ sàn đến cao độ 2,1m) có khả năng phản xạ cao. Tường sau không nên xử lý cong, có thể thiết kế nhiều hốc cửa giả, ngoài phủ màn vải để tăng khả năng hút âm và khuếch tán âm.

Phòng khán giả 300 chỗ, **V** = 1500 m^3 ghế mềm dày, hệ số hút âm ở tần số 125 – 250 Hz, α = 0,2 – 0,3 m^2/ghế, ở tần số 500 Hz, α = 0,3 – 0,4 m^2/ghế, bảo đảm thời gian âm vang tối ưu.

Cố gắng rút bé sân khấu, thể tích sân khấu quá lớn, năng lượng âm mất nhiều trong sân khấu. Thiết kế phông màn, bố cảnh và những mặt phản xạ trong sân khấu (trên trần tường) bảo đảm đưa âm thanh thoát ra ngoài sân khấu. Bố cảnh sân khấu bằng gỗ dán hoặc vải sơn hai mặt vừa dễ sử dụng vừa có tác dụng phản xạ khuếch tán tốt.

Sàn sân khấu không nên quá cao, đủ thỏa mãn tầm nhìn, thường cao hơn mặt nền của hàng ghế đầu 0,9 – 1 mét.

Cố gắng không sử dụng bể nhạc, nếu bắt buộc phải có bể nhạc, khi không sử dụng dùng ván ép hoặc vải sơn hai mặt đậy miệng mở của bể nhạc.

Mức ồn cho phép trong phòng tới 35dB, tốt nhất 30dB, khi đó chất lượng âm rất cao. Muốn đạt được yêu cầu này, lưu ý lựa chọn các giải pháp giảm nhỏ tiếng ồn. Phòng khán giả gần đường giao thông nên có hành lang hoặc phòng đệm cách ly giảm nhỏ tiếng ồn.

Khống chế thời gian âm vang trong sân khấu xấp xỉ thời gian âm vang của phòng khán giả, phông màn gập thành những nếp sâu, tổng chiều dài của những nếp gập bằng tổng chiều dài phần không gập để tăng khả năng hút âm đối với tần số thấp.

Phòng khán giả thể tích **V** = 1200m^3, thời gian âm vang tần số 125, 500 và 4100Hz, **T** = 1giây, chất lượng âm tốt.

3.2. Phòng kịch nói cỡ lớn

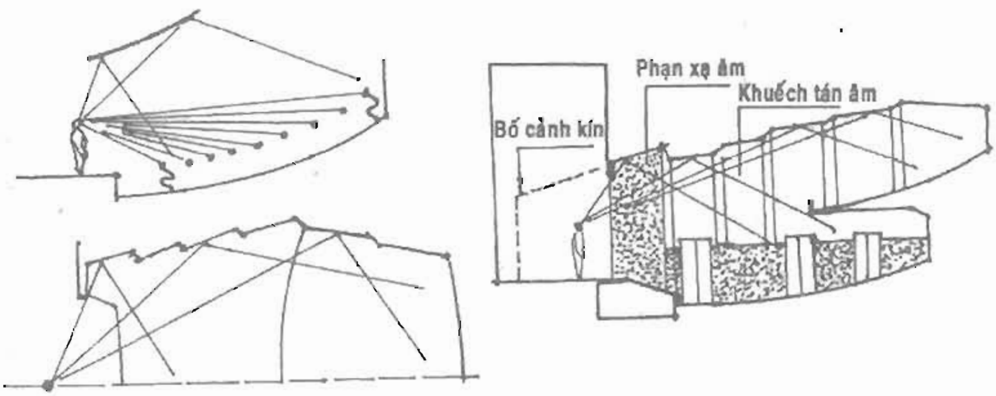
Phòng kịch nói cỡ lớn thường không đủ mức âm, cho nên thiết kế hình dáng phòng để khán giả nhận đủ âm trực tiếp và âm phản xạ đầu tiên có ý nghĩa vô cùng quan trọng.

Có thể thiết kế tường bên lệch, trần nghiêng để tăng cường mức âm cho khán giả phía sau.

Thời gian âm vang trong sân khấu tương đương với thời gian âm vang của phòng khán giả, khi đó miệng sân khấu là một bề mặt hút âm đối với phòng khán giả, có thể tham khảo số liệu ở bảng 6 - 3.

Bảng 6 - 3. Hệ số hút âm α của miệng sân khấu đối với phòng khán giả

Tần số (Hz)	125	500	2000
α	0,3	0,4	0,5



Hình 6 - 26

Không nên thiết kế trần và tường cong lõm, trần nghiêng đưa âm phản xạ ra sau có hiệu quả. Ban công đưa ra ngắn, miệng mở ban công cao, nếu thiết kế tường bên lệch sẽ tăng cường năng lượng âm phản xạ ra phía sau (hình 6 - 26). Tường sau xử lý hút âm cao, có thể dùng bông khoáng, ngoài ốp gỗ dán đục lỗ. Tường bên cao, nên xử lý hút âm tần số thấp.

Cố gắng tận dụng bố cảnh kín để đưa âm phản xạ đầu tiên tới khán giả.

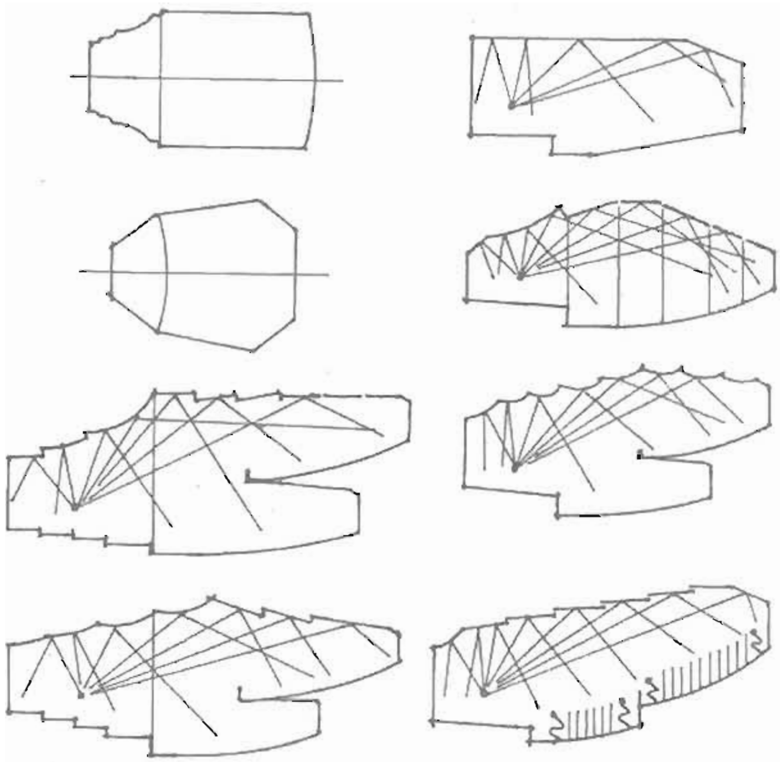
4. Thiết kế chất lượng âm phòng hòa nhạc

Chất lượng âm trong phòng hòa nhạc yêu cầu rất cao, không những đủ độ phong phú, tính chất thật của âm thanh mà còn đảm bảo độ rõ cân đối của âm thanh các nhóm nhạc cụ trong thứ tự không gian của bố cục dàn nhạc.

Chọn địa điểm xây dựng, định vị công trình, thiết kế tổ chức mặt bằng, ... đảm bảo cách ly khỏi các loại nguồn ồn ngoài nhà: tiếng ồn giao thông, các loại hoạt động công cộng,... giảm nhỏ mức ồn trong nhà: tiếng ồn của các thiết bị kỹ thuật, thiết bị vệ sinh, của ghế, của khán giả, cách âm va chạm trên sàn nhà.

Giảm nhỏ tiếng ồn trong thiết kế quy hoạch là giải pháp kinh tế nhất để chống ồn hoàn cảnh.

Đối với tiếng ồn nội bộ, xử lý bằng cách phân khu chức năng hợp lý trong bố cục tổng thể. Trường hợp không tránh được, bắt buộc sử dụng kết cấu cách âm để phân chia không gian.



Hình 6 - 27

Hai loại mặt bằng và một số mặt cắt tốt nhất về chất lượng âm

Hình dáng phòng hòa nhạc có tác dụng tạo được trường âm khuếch tán đồng đều trong phòng. Có thể sử dụng những mặt cong lồi trên tường, trần để tăng cường khả năng khuếch tán âm. Tận dụng mặt trần, tường sân khấu để phản xạ âm. Độ nghiêng của trần sân khấu bảo đảm phản xạ một phần năng lượng âm cho sân khấu để nhạc công với nhạc công, nhạc công với diễn viên có thể liên hệ hòa âm khi biểu diễn (hình 6 - 27).

Sân khấu của phòng hòa nhạc ít phông màn và thiết bị, ít bố cảnh hơn so với sân khấu nhà hát. Nguồn âm của phòng hòa nhạc thường lấy giữa sân khấu (giữa khu vực bố trí dàn nhạc).

Trong những phòng hòa nhạc lớn, thường yêu cầu lượng hút âm nhiều, khi đó chú ý phân công các bề mặt phản xạ âm và hút âm hợp lý, đảm bảo phân bố đồng đều năng lượng âm trong phòng.

Có thể thiết kế độ dốc mặt nền lớn để tận dụng âm trực tiếp.

Sân khấu có thể tổ chức kiểu bậc thang để âm của các nhạc cụ tự do bức xạ tới khán giả.

5. Thiết kế chất lượng âm phòng đa dụng

Phòng đa dụng sức chứa đến vài nghìn người, kích thước phòng vì vậy rất lớn, thường sử dụng hệ thống tăng âm. Khi đó năng lượng âm và mức âm phân bố trên vùng chỗ ngồi không những phụ thuộc vào nguồn âm mà còn phụ thuộc vào cách bố trí, hướng và công suất của hệ thống tăng âm.

Phòng lớn, quãng đường âm phản xạ dài, âm phản xạ đầu tiên đến sau âm trực tiếp chậm, khi đó nếu mức âm phản xạ quá lớn sẽ tạo thành tiếng dội. Trong điều kiện này chất lượng âm cảm thụ được phụ thuộc không phải thời gian âm vang mà là cấu trúc của những âm phản xạ đầu tiên và âm trực tiếp.

Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng âm trong phòng đa dụng lớn không phải thời gian âm vang tối ưu. Vì rằng trong phòng đa dụng, thời gian âm vang tối ưu và đặc tính tần số thay đổi theo mục đích sử dụng: nói chuyện, biểu diễn, hòa nhạc ... Do đó thiết kế chất lượng âm phòng đa dụng đảm bảo có đủ những yêu cầu sau đây:

- Hình dáng phòng, giải pháp xử lý trang âm,... tạo điều kiện thuận lợi để bố trí hệ thống tăng âm ở chỗ kín đáo, bảo đảm trường âm đồng đều, hệ thống tăng âm làm việc bình thường. Các loa là những hệ thống nguồn bức xạ âm kết hợp tạo nên trường giao thoa đều khắp trong vùng khán giả.

- Tỷ lệ các kích thước hình học của phòng, giải pháp xử lý các bề mặt, thông qua kiểm tra đánh giá thời gian chậm, mức áp suất âm phân bố ở những vị trí khác nhau trong phòng và ở khu vực đặt micro.

- Khi tính lượng hút âm trong phòng, nếu xuất phát từ điều kiện tối ưu để cảm thụ tiếng nói, khi biểu diễn ca nhạc, lượng hút âm sẽ quá lớn, mâu thuẫn này có hai cách giải quyết:

• Tổng lượng hút âm trong phòng xác định từ điều kiện tối ưu theo yêu cầu biểu diễn âm nhạc, khi nói chuyện sử dụng hệ thống tăng âm với loa định hướng mạnh, hoặc phân tán bố trí nhiều loa để tăng mức âm trực tiếp cho thính giả.

• Tổng lượng hút âm trong phòng xác định từ điều kiện tối ưu theo yêu cầu cảm thụ tiếng nói. Khi biểu diễn ca nhạc sử dụng hệ thống tăng âm có thiết bị âm vang nhân tạo tạo thời gian âm vang, thông qua điều chỉnh đặc tính tần số của âm vang để thỏa mãn yêu cầu của các thể loại biểu diễn.

6. Thiết kế chất lượng âm phòng phát thanh

Phòng phát thanh vô tuyến truyền hình, phòng ghi âm phát thanh ... chuyên dùng máy thu thu âm, sau đó qua hệ thống phát sóng phát đi trong không gian. Vì giống nhau về chất lượng âm, nên gọi chung là phòng phát thanh.

6.1. Đặc điểm âm thanh

Chất lượng âm của phòng phát thanh có 2 đặc điểm: Thu âm theo hiệu ứng nghe âm một tai và cảm thụ âm từ hiệu quả đồng thời của hai trường âm:

- Hiệu ứng nghe âm một tai vì trong phòng dùng máy thu thu âm và phát đi. Tương đương với nghe âm một tai, không có khả năng phân biệt để thu những âm cần thu. Mức ồn và thời gian âm vang trong phòng ảnh hưởng rất lớn tới độ rõ. Mức ồn đủ thấp, thời gian âm vang đủ ngắn mới đảm bảo được độ rõ.

- Trường âm thính giả cảm thụ được từ kết quả của hai trường âm: trường âm nơi phát và trường âm nơi thu. Phòng phát thanh tiếng nói và âm nhạc yêu cầu khác nhau, thời gian âm vang tối ưu khác nhau.

6.2. Yêu cầu về chất lượng âm

Có 3 yêu cầu:

- Thời gian âm vang tối ưu trong phạm vi tần số rộng, có thể tham khảo biểu đồ hình 6 - 28a, đặc tính tần số của thời gian âm vang bằng phẳng. Phòng phát ca nhạc, thời gian âm vang của tần số thấp có thể dài hơn tần số trung một ít.

- Trường âm khuếch tán tốt. Máy thu đặt ở những vị trí khác nhau trong phòng đều ghi được những hiệu quả âm thanh như nhau.

Đặc tính hưởng ứng tần số của phòng đều đặn, âm thanh tăng dần và tắt dần trơn tru, âm không bị méo.

- Xử lý cách âm đặc biệt, đảm bảo mức ồn trong phòng nhỏ hơn 25 – 30dB.

Tần số dao động riêng của phòng phân bố đều khắp trong phòng.

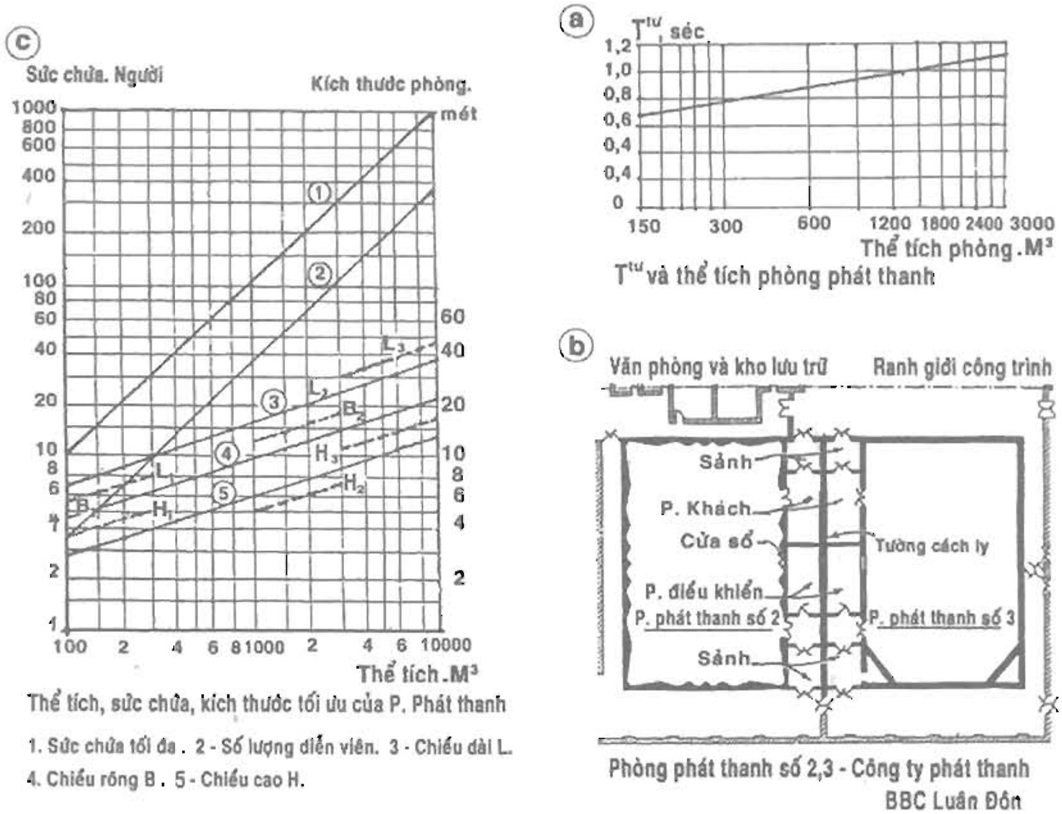
Thời gian âm vang tối ưu và yêu cầu cách âm trong phạm vi tần số từ 500 ÷ 10000 Hz, phạm vi này tương đối rộng đối với các loại phòng khác.

6.3. Xác định thể tích phòng

Khác với các phòng khán giả khác, thể tích, chỉ tiêu thể tích phòng phát thanh xác định căn cứ vào công suất của các loại nguồn âm.

Công suất của diễn viên và các loại nhạc cụ khác nhau (lấy công suất âm của diễn viên trong đội hợp xướng làm chuẩn). Công suất âm của các loại nhạc cụ quy ra số diễn viên tương đương:

Chẳng hạn Nhị, Hồ, Violon tương đương hai diễn viên, **n** = 2. Kèn tương đương 6 diễn viên, **n** = 6. Piano tương đương với 12 diễn viên, **n** = 12



Thể tích, sức chứa, kích thước tối ưu của P. Phát thanh

1. Sức chứa tối đa . 2 - Số lượng diễn viên. 3 - Chiều dài L.
4. Chiều rộng B . 5 - Chiều cao H.

$T^{tư}$ và thể tích phòng phát thanh

Phòng phát thanh số 2,3 - Công ty phát thanh BBC Luân Đôn

Hình 6 - 28. a) $T^{tư}$ theo thể tích phòng; b) Sơ đồ một cụm phòng phát thanh c) Sức chứa và thể tích phòng

Nếu có nhiều nhạc cụ, số người tương đương bằng tổng số người tương đương của các loại nhạc cụ : $N = \Sigma n$ khi đó thể tích phòng xác định bằng công thức:

Khi $V < 2000m^3$:

$$V = 21N + 55m^3$$

Khi $V \geq 2000m^3$:

$$N = 0{,}125V^{2/3}.\lg V$$

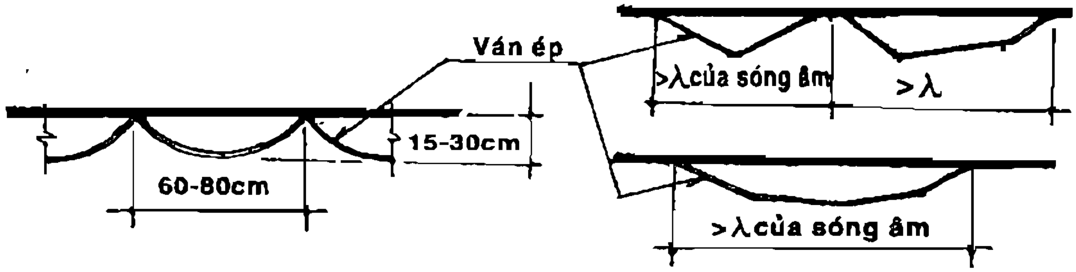
Các công thức này chỉ thích hợp với phòng phát thanh âm nhạc.

Đối với phòng phát thanh tiếng nói, thường chứa không quá 3 ÷ 4 người, thể tích phòng xác định trong khoảng từ 43 ÷ 114m^3

6.4. Hình dáng phòng

Thông thường phòng phát thanh sử dụng mặt bằng hình chữ nhật. Tỷ lệ phòng tốt nhất: 2: 3: 5, tỷ lệ này tạo được số lượng dao động riêng của phòng nhiều nhất, phân bố dày đặc và đầy đặn.

Trên cơ sở tỷ lệ tốt nhất cấu tạo những mặt khuếch tán âm hợp lý, những mặt khuếch tán này có thể có dạng hình trụ, hình hộp, hình chóp, bằng gỗ dán, nan gỗ trát vữa ... (hình 6 - 29).



Hình 6 - 29. Xử lý khuếch tán âm

Xử lý khuếch tán âm tạo hiệu quả phản xạ khuếch tán, tránh được những hiện tượng tiếng dội và những hiện tượng xấu về mặt âm học do nguồn âm đặt giữa các cặp mặt song song gây ra, trong phòng phát thanh nguồn âm thường đặt giữa phòng.

Tính toán thiết kế thời gian âm vang và xử lý cách âm thông thường vẫn theo nguyên lý âm hình học, nhưng cố gắng tối đa sử dụng âm vật lý để định vị tốt nhất phân bố vật liệu hút âm và lựa chọn tỷ lệ các kích thước hình học của phòng.

Cần lưu ý đặc biệt, chất lượng âm trong các loại phòng này theo hiệu ứng nghe âm một tai.

6.5. Thời gian âm vang tối ưu ($T^{tư}$)

Phòng phát thanh và ghi âm phát thanh, $T^{tư}$ ngắn hơn trong các loại phòng nghe âm hai tai. Hiệu ứng nghe âm một tai và hai tai khác nhau rất nhiều, hơn nữa phòng thu phát và phòng nghe là hai không gian cách biệt.

Đánh giá chất lượng âm của phòng phát thanh, hầu như từ chất lượng âm trong phòng nghe, chất lượng âm trong phòng thu phát phụ thuộc nhiều yếu tố ngoài phạm vi thiết kế: đặc tính, chất lượng máy thu, khoảng cách giữa máy thu và nguồn âm, khoảng cách này quyết định thu âm trực tiếp hay thu âm phản xạ, nếu thu nhiều âm phản xạ, độ rõ giảm, âm nghe mơ hồ. Chính vì nguyên nhân này, để an toàn, người thiết kế thường xử lý tiêu âm tối đa, như vậy âm nghe rõ nhưng khô, không có lực. Tham khảo $T^{tư}$ (hình 6 - 28a).

7. Thiết kế chất lượng âm nhà thi đấu

Trong nhà thi đấu, ngoài việc tiến hành các cuộc đua đấu, còn có thể sử dụng để tổ chức đại hội quần chúng, biểu diễn ca vũ nhạc, vũ thuật ... là loại công trình lớn, đông người, thiết kế chất lượng âm nhà thi đấu tương đối phức tạp.

7.1. Đặc điểm âm thanh trong nhà thi đấu

- Người đông, mức ồn lớn, thể tích lớn, trong điều kiện khí hậu nước ta, độ rỗng của không gian khá nhiều, thời gian âm vang dài.

- Yêu cầu độ rõ cao, khi đua đấu, trọng tài báo cáo với khán giả tình hình đua đấu, điểm số và những vấn đề cần lưu ý. Khi đại hội quần chúng, nghe nói chuyện ... đều cần nghe rõ, một chỉ tiêu chủ yếu đối với nhà thi đấu.

- Trong nhà thi đấu thường sử dụng hệ thống điện thanh.

- Thể tích lớn, quãng đường của âm phản xạ dài (nhất là khi dùng mái cong) dễ sinh hiện tượng tiêu điểm âm, tiếng dội ... vì vậy khi thiết kế chú ý xử lý khử các hiện tượng này.

7.2. Xác định thể tích

Thể tích nhà thi đấu thường xác định theo những yêu cầu sau:

- Yêu cầu sử dụng của các loại đua đấu.

- Bảo đảm sức chứa.

- Kinh tế và kết cấu cho phép.

Thể tích quá lớn khó xử lý chất lượng âm, do đó việc lựa chọn chỉ tiêu thể tích hợp lý có ý nghĩa quan trọng. Nếu chỉ tiêu thể tích quá lớn, âm vang quá dài, mức ồn tăng lên, nếu xử lý vật liệu hút âm sẽ không kinh tế và khó thỏa mãn yêu cầu.

Hiện nay, chưa có những tài liệu đáng tin cậy về chỉ tiêu thể tích cung thể dục thể thao, có thể tham khảo công thức xác định chỉ tiêu thể tích (**M**) sau đây:

$$M = \left(3 + \frac{0{,}35N}{1000}\right) \sim \left(3{,}16 + \frac{0{,}6N}{1000}\right), \quad m^3/\text{người}$$

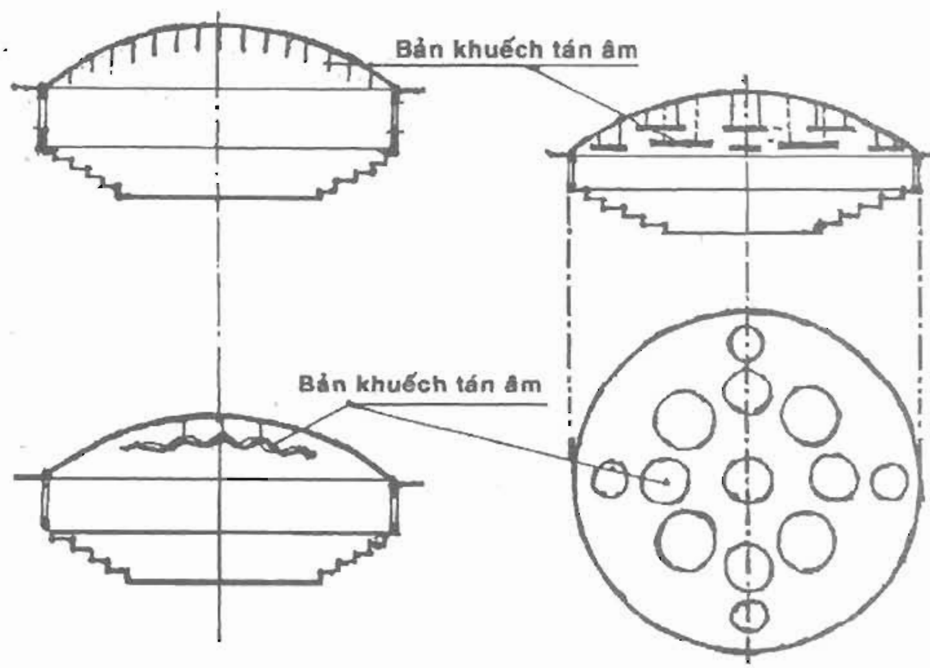
Trong đó: **N** sức chứa, người

Thí dụ: nếu sức chứa **N** = 10000 người, **M** = 6,5 ~ 9 m^3/người, vượt quá giá trị này sẽ khó xử lý. Ngược lại nếu **M** quá nhỏ, thời gian âm vang trong nhà chủ yếu phụ thuộc vào số lượng khán giả có mặt.

7.3. Xử lý hình dáng

Hình dáng nhà thi đấu thường ít xét tới yêu cầu âm thanh vì trong nhà thi đấu chủ yếu sử dụng hệ thống điện thanh đưa năng lượng âm trực tiếp tới khán giả. Không cần hình dáng phòng đưa âm phản xạ hỗ trợ. Xử lý hình dáng chủ yếu để tránh những âm phản xạ có hại, nhất là khi sử dụng mái vỏ mỏng, hoặc thiết kế nhiều cửa kính lớn lấy ánh sáng, dễ tạo

thành những tiếng dội đồng thời gây chói trong tầm mắt khán giả. Tránh thiết kế nhiều cửa kính lớn bằng cách lấy ánh sáng trên mái ... hoặc bằng những giải pháp hợp lý nào đó. Nếu dùng mái vỏ mỏng chú ý bán kính cong không gây tiêu điểm âm có hại. Có thể khắc phục tiêu điểm âm bằng cách sử dụng những bản treo dưới mái để khuếch tán âm (hình 6 - 30).



Hình 6 - 30

7.4. Lựa chọn và xử lý âm vang

Thời gian âm vang tối ưu trong nhà thi đấu thường xác định theo công thức:

$$T = 0{,}41.\ \lg V \quad \text{(giây)}$$

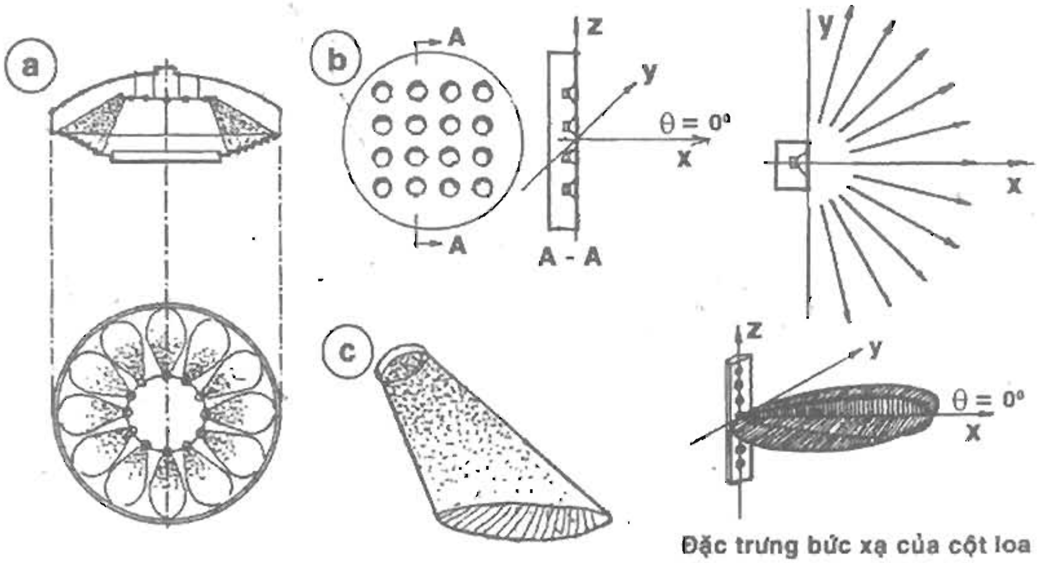
Trong đó: **V** – thể tích phòng, m^3.

Thời gian âm vang ngắn có lợi cho độ rõ, nhưng xử lý hút âm nhiều, không kinh tế.

Xử lý âm vang trước tiên đảm bảo thể tích mỗi chỗ ngồi hợp lý, sau đó xử lý hút âm ở trần và tường chung quanh. Nếu dùng mái vỏ mỏng, sử dụng vật liệu và kết cấu hút âm nhẹ, không để mái phải mang tải trọng quá lớn. Do nguyên nhân kinh tế, vùng bậc ngồi thường cấu tạo cứng, vì vậy lượng hút âm quyết định do khán giả. Khi chưa có khán giả, thời gian âm vang thường rất dài, thậm chí xuất hiện tiếng lặp lại liên tục . Trong mọi trường hợp, khắc phục hiện tượng này bằng cách tránh những bề mặt cứng phản xạ âm, phủ lối đi bằng vật liệu mềm, cấu tạo ghế bằng nan hoặc bản tản xạ âm.

7.5. Hệ thống điện thanh

Nhờ hệ thống điện thanh mới đảm bảo đủ độ to, cung cấp tới khán giả mức âm trực tiếp lớn hơn mức ồn 10 – 15dB, bằng cách sử dụng loa định hướng mạnh (cột loa, hộp loa ..) phân công rọi đúng vào khán giả. Dùng loa định hướng mạnh có thể đảm bảo độ rõ trong điều kiện âm vang dài, không gây nhiễu loạn lẫn nhau, khán giả chỉ nghe âm do loa nhìn vào họ phát ra, vận động viên trong sân không nghe tới khi thi đấu. Khi hội họp, khán giả ở trong sân có thể nhận âm trực tiếp từ một hệ thống loa khác (hình 6 - 31a).



Hình 6 - 31. a) Sơ đồ bố trí loa; b), c) Hộp loa, cột loa định hướng

Hệ thống loa hướng năng lượng âm trực tiếp vào khán giả - đối tượng hút âm chiếm một tỷ lệ lớn trong tổng lượng hút âm của phòng, năng lượng âm bị hấp thu hầu hết không còn đủ mức để tạo âm vang dài, do vậy tăng độ rõ.

8. Thiết kế chất lượng âm trường học

Trong trường học, hiệu quả dạy và học chủ yếu dựa vào khẩu âm và thính giác nên đòi hỏi yên tĩnh, thời gian âm vang ngắn, độ rõ cao.

Mức ồn lớn không những làm mất khả năng tập trung mà còn gây khó khăn để nghe và hiểu.

Thiết kế chất lượng âm cho trường học bao gồm các bước sau:

- Lựa chọn mặt bằng
- Tổ chức quan hệ giữa các phòng, sân tập, xưởng trường, cây xanh ...
- Xác định lượng cách âm yêu cầu của bản thân công trình.

- Thiết kế chất lượng âm cho một số phòng cần thiết: lớp học, văn phòng, phòng thí nghiệm, hành lang ...

8.1. Yêu cầu đối với mặt bằng

Trường học gần khu nhà ở và đường giao thông rất cần thiết nhưng không cho phép xây dựng gần đầu mối giao thông chủ yếu. Nếu bắt buộc, yêu cầu xử lý ngăn cách tiếng ồn tới mức cho phép, thường quá đắt. Mặt bằng tốt nhất không cần thiết kế cách âm. Mức ồn tới khu vực mặt bằng < 70dB, lưu ý khả năng phát triển sau này.

Mức ồn cho phép trong lớp học, giảng đường 40dB, trong thư viện 40 - 45dB. Muốn đạt được mức ồn này, ngoài việc lựa chọn mặt bằng, kết hợp các giải pháp giảm nhỏ tiếng ồn:

- Lợi dụng địa hình, tường chắn, cây xanh ... bảo vệ mặt bằng trường học.

- Tổ chức các quan hệ chức năng hợp lý trong khu vực trường.

Các phòng, hội trường, lớp học, giảng đường, thư viện, phòng học nhạc ... bố trí trong vùng yên tĩnh nhất, không hướng ra đường, sân tập, xưởng trường. Xử lý cách âm và cách ly tốt giữa hành lang và lớp học ...

8.2. Thiết kế chất lượng âm

Các phòng trong trường học đều yêu cầu thiết kế chất lượng âm

- Lớp học

Hình dáng kích thước lớp học rất linh hoạt, nhưng đảm bảo nghe nhìn tốt nhất. Lượng cách âm của kết cấu phân cách giữa hai lớp học 40 – 45dB.

Lượng cách âm của kết cấu phân cách của lớp học có thể xác định theo thời gian âm vang $T^{tư}$.

$$T_{500}^{tư} = \frac{0{,}16V}{S.\ln\left(\dfrac{1}{1-\bar{\alpha}}\right)} \quad \text{(giây)}$$

Tính được $\bar{\alpha}_{500}$

Tổng lượng hút âm $A_{500} = S.\bar{\alpha}$, m^2 (Sabin)

Trong đó: **S** - tổng diện tích các bề mặt trong phòng (m^2)

Lượng xuyên âm tổng hợp của kết cấu phân cách τ:

$$\tau = S_1.\tau_1 + S_2.\tau_2 + ... + S_n.\tau_n$$

Trong đó: $S_1, S_2, ..., S_n$ - diện tích bề mặt các bộ phận kết cấu phân cách, tương ứng với hệ số xuyên âm $\tau_1, \tau_2, ..., \tau_n$.

Chỉ số cách âm của phòng (ℓ):

$$\ell_{500} = 10.\lg\frac{A_{500}}{\tau}, \quad dB$$

Có hai cách tăng giá trị của ℓ, khi thiết kế tùy nghi lựa chọn để đạt được hiệu quả:

- Tăng tổng lượng hút âm của phòng.

- Giảm hệ số xuyên âm τ của kết cấu phân cách.

Trong những lớp học thông thường, nền ồn cho phép 40dB. Những lớp học đặc biệt: lớp ngữ văn, lớp học nhạc, mức ồn cho phép 35dB. Lượng cách âm của kết cấu phân cách giữa các lớp học lý thuyết không nhỏ hơn 40dB, đối với các lớp học nhạc không nhỏ hơn 45dB.

Đối với lớp học mẫu giáo, tiểu học trong phạm vi hoạt động, lượng hút âm rất nhỏ, do đó trần và bộ phận tường phù hợp bố trí vật liệu hút âm nhiều hơn lớp học trẻ thành niên.

Tham khảo $T^{tư}$ đối với yêu cầu độ rõ của tiếng nói trong phần trước.

- Giảng đường

Sức chứa > 100 chỗ ngồi

Chỉ tiêu thể tích chỗ ngồi thường chọn từ 3 – 4 m^3/chỗ ngồi.

Độ dốc bậc ngồi tuỳ thuộc mục đích sử dụng: nếu chỉ nghe giảng lý thuyết, yêu cầu > 8^0, nếu yêu cầu theo dõi thí nghiệm, độ dốc 15 – 20^0, tỷ lệ mặt bằng (1 x 1,2).

Yêu cầu thiết kế cách âm chống ồn giống như lớp học.

Cần lưu ý: lớp học, giảng đường thường mở cửa sổ, hệ số hút âm của cửa mở α = 1. Trong trường hợp này không cần thiết kế cách âm, yêu cầu định vị hợp lý.

Mức độ yên tĩnh quyết định do lựa chọn vị trí công trình.

Thời gian âm vang ở tần số 500 – 2048 Hz: 0,85 giây.

Thời gian âm vang tần số 125 Hz: 1,2 giây.

Trên cơ sở bảo đảm nghe nhìn, có thể chọn hình dạng phòng như hình 6 – 32.

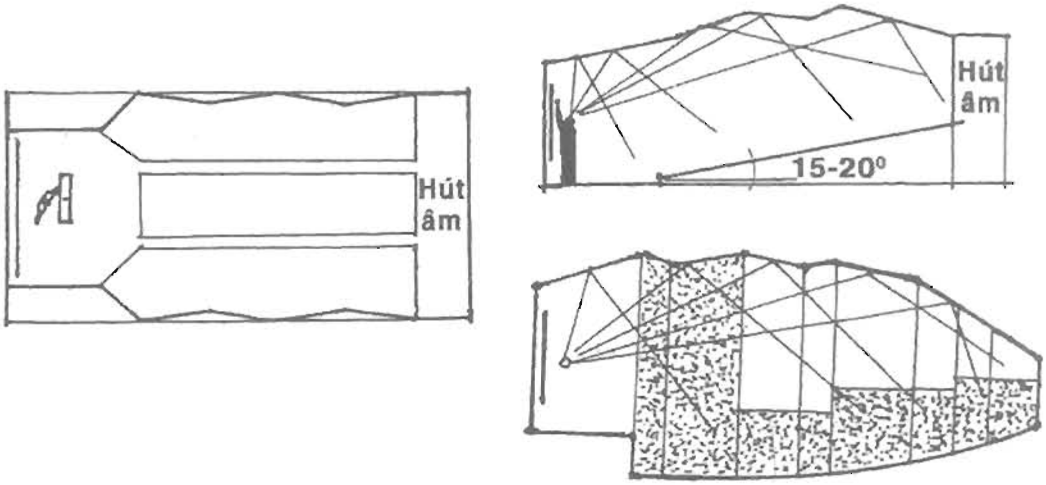
- Lớp học nhạc

Lớp học nhạc sử dụng để đội nhạc, đội hợp xướng luyện tập.

Yêu cầu chất lượng âm giống như lớp học, giảng đường, hình dáng phòng có một vài khác biệt:

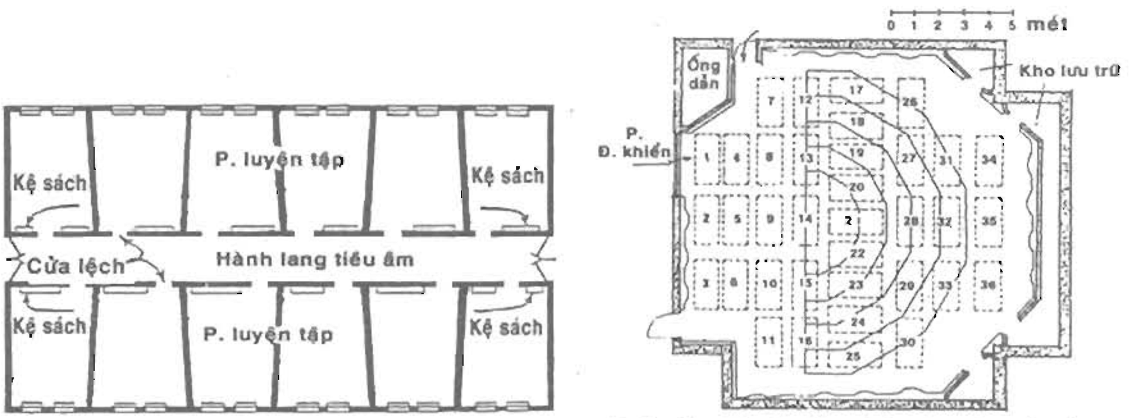
- Sàn lớp học nhạc tổ chức dạng bậc cấp để bố trí dàn nhạc hoặc đội hợp xướng.

- Yêu cầu mức độ khuếch tán âm cao hơn giảng đường, lớp học, do đó thường xử lý tường không song song, liên kết tường và trần không quy tắc, $T^{tư}$ xác định theo chức năng sử dụng. Tham khảo $T^{tư}$ của biểu đồ thực nghiệm điều tra.



Hình 6 - 32. Xử lý hình dáng giảng đường

Xử lý trang âm: khu vực biểu diễn, xử lý phản xạ âm. Khu vực thính giả, xử lý hút âm phù hợp. Nên sử dụng bản mỏng mềm để tiêu âm thấp tần, không nên sử dụng thảm, vật liệu xốp, hấp thu nhiều âm cao tần. Tường cuối lớp học bố trí giá, kệ sách để khắc phục hiện tượng tiếng dội. Trần xử lý nghiêng 1/20, hình dạng mặt bằng như hình 6 - 33.



Thiết kế sơ bộ mặt bằng phòng âm nhạc tổng hợp trường Đại học Luân Đôn.
Những ô nét đứt mô tả kết cấu âm di động bố trí trên trần

Hình 6 - 33

9. Thiết kế chất lượng âm cho bệnh viện

Phòng bệnh nhân trong bệnh viện rất cần yên tĩnh, các cửa thường mở để thông thoáng, do đó lượng cách âm của cửa không thể quá 10 – 12dB.

Trong nội bộ bệnh viện có những tiếng ồn như trẻ em khóc, bệnh nhân rên la và tiếng động của các thiết bị thường có mức ồn khoảng 50 – 70 dB.

Thiết kế chất lượng âm cho bệnh viện, trước tiên phải xét vấn đề cách âm.

Việc phân chia, cách ly khu vực ồn và yên tĩnh trong bệnh viện rất quan trọng. Những bộ phận có tiếng ồn như phòng sản phụ, phòng trẻ em ... cần ngăn cách để giảm mức ồn trong phòng khoảng 35 – 40dB. Mức ồn trong phòng bệnh nhân nhỏ hơn 30dB, bệnh nhân có thể nghe tiếng tim mình đập, dễ gây cảm giác ưu tư. Song, trong thực tế cũng khó tạo được sự yên tĩnh như vậy.

10. Yêu cầu chất lượng âm đối với nhà ở

Khi thiết kế xây dựng nhà ở thường ít chú ý tới âm thanh, kết quả giảm giá trị sử dụng, cầu thang, hành lang trở thành ống thông ồn, bếp, buồng tắm, bể nước quá ồn, cửa phòng ngủ hướng ra đường phố, xử lý cách âm giữa các phòng kém, trong phòng ồn ào và không kín đáo.

Vấn đề chất lượng âm trong nhà ở đạt được chủ yếu nhờ tổ chức quan hệ giữa các phòng, cách ly tiếng ồn bên ngoài xâm nhập vào phòng ở.

Các nguồn ồn như cầu thang, buồng tắm giặt, không nên hướng thẳng đến phòng ở. Cửa sổ phòng ở và phòng ngủ hướng ra nơi yên tĩnh, cửa đi nên làm bằng vật liệu nặng, liên kết kín. Xử lý vòi nước, bể nước chú ý giảm nhỏ tiếng ồn xung kích. Sàn phòng ở có khả năng cách âm 45dB.

Nhà ở chung cư yêu cầu cách âm giữa các căn hộ và trong nội bộ căn hộ bảo đảm tính độc lập trong tiện nghi và chất lượng sống. Để đảm bảo yêu cầu này, trước tiên cấu trúc không gian giao thông và không gian sử dụng hợp lý cuối cùng mới tới sử dụng kết cấu cách âm.

Chương 7

HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

I. CẤU TẠO VÀ TÁC DỤNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Cấu tạo hệ thống điện thanh gồm ba bộ phận cơ bản sau đây:

- Bộ phận thu (micrô);
- Bộ phận khuếch đại (ampli);
- Bộ phận phát (loa), và thiết bị kéo dài thời gian.

Thực tế có bốn trường hợp phải dùng hệ thống điện thanh:

- Âm của nguồn tự nhiên không đủ to, mức ồn quá lớn hay có những chỗ ngồi quá xa (>12 - 24m), âm của nguồn tự nhiên tới không đủ ...

- Khi chất lượng âm trong phòng không lợi đối với âm tự nhiên do hình dáng phòng (nhất là những phòng khán giả đa chức năng).

- Phòng biểu diễn âm nhạc thể tích lớn hơn $20000m^3$, phòng họp, giảng đường thể tích lớn hơn 1400 - $2800m^3$ cần sử dụng hệ thống điện thanh.

- Những phòng thể tích nhỏ, nhưng xử lý kiến trúc không tốt cũng phải dùng hệ thống điện thanh để giảm bớt những thiếu sót do hình dáng phòng gây ra.

Hệ thống điện thanh tốt nếu bảo đảm cho mọi thính giả đều nhận được âm đủ to, đủ rõ, âm sắc hài hòa không bị méo, cảm giác lập thể tốt, mọi chỗ ngồi đều cảm thấy âm từ nguồn thật chứ không phải đến từ loa. Một số trường hợp như hội họp, báo cáo ... chỉ cần nghe hiểu không yêu cầu cao về cảm giác thật nhưng nếu có được một hệ thống điện thanh lý tưởng càng tốt.

Do hạn chế của điều kiện kỹ thuật hiện nay, muốn có một hệ thống điện thanh lý tưởng còn rất khó khăn. Vì thế đối với các phòng biểu diễn không nên thiết kế phải sử dụng hệ thống điện thanh.

II. YÊU CẦU CƠ BẢN ĐỐI VỚI HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

1. Âm đủ rõ, năng lượng âm phân bố đều

Khi biểu diễn âm nhạc trường âm đồng đều, cân đối, mức áp suất âm 80dB, độ không đồng đều của trường âm cho phép 5dB. Khi hội họp nói chuyện, mức áp suất 70dB, độ không đồng đều cho phép 3dB.

Trong phòng khán giả lớn khó đạt được yêu cầu đó.

Đối với tiếng nói, yêu cầu hệ thống điện thanh có thể lặp lại được âm trong dải tần số từ 400 ÷ 8000Hz, khi phông ồn và âm vang trong dải tần số này có mức âm thấp hơn mức âm trực tiếp trung bình 10dB, độ không đồng đều của trường âm cho phép nhỏ hơn 6 ÷ 8dB.

2. Phạm vi hưởng ứng tần số đủ rộng, âm sắc không bị méo

Phạm vi tần số của tiếng hát và của các loại nhạc cụ rất rộng. Muốn bảo đảm âm sắc không mất thật, phạm vi hưởng ứng tần số của hệ thống điện thanh từ 40 ÷ 10000Hz. Đối với tiếng nói, yêu cầu độ rõ cao, vì thành phần chủ yếu của tiếng nói là âm trung tần, còn âm thấp tần không những không có tác dụng hỗ trợ mà còn gây nhiễu loạn và phản quy làm giảm độ rõ, nên thường cắt bỏ, chỉ yêu cầu hệ thống điện thanh có phạm vi hưởng ứng tần số từ 300, 400 ÷ 7000, 8000Hz.

3. Không phản quy, những giải pháp khống chế âm phản quy

Hiện tượng phản quy là hiện tượng âm thanh do loa phát ra, trở lại máy thu, qua máy khuếch đại và lại ra loa. Quá trình tuần hoàn này nếu tốc độ nhanh sẽ tạo nên âm chối tai, nếu tốc độ chậm sẽ gây nhiễu, ảnh hưởng trầm trọng tới hiệu quả nghe âm.

Hiện tượng phản quy là hậu quả của những nguyên nhân:

- Vị trí loa và micrô không đúng.
- Âm khuếch đại quá mức cần thiết.
- Âm thấp tần nhiễu loạn.
- Âm phản xạ mạnh tới micrô.

Có khi âm vang quá mức, mức ồn quá cao cũng tạo nên âm phản quy.

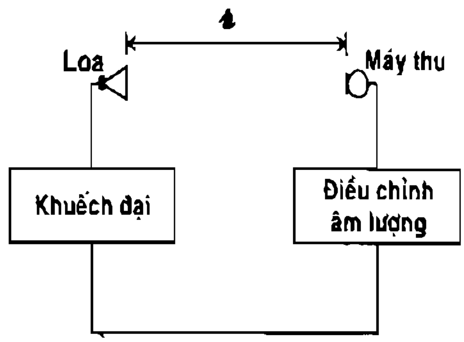
Những giải pháp khống chế âm phản quy:

- **Khống chế những tần số tự kích động hệ thống:** Thông thường hệ thống điện thanh rất nhạy với những tần số trong phạm vi từ 2 – 3000Hz, nhất là những tần số < 300Hz, tự kích động hệ thống rất nhạy, nên có giải pháp lọc bỏ.

- **Loại trừ khả năng hình thành sóng đứng:** Sóng đứng hình thành do sóng chạy tới trước và sóng phản xạ trở về nguồn âm.

  + Tăng cường khuếch tán âm trung tần trong phòng.
  + Xoay chuyển chậm trục loa.
  + Đặt chóp quay trước mặt loa.

- **Tăng khoảng cách ℓ giữa micrô và loa:**



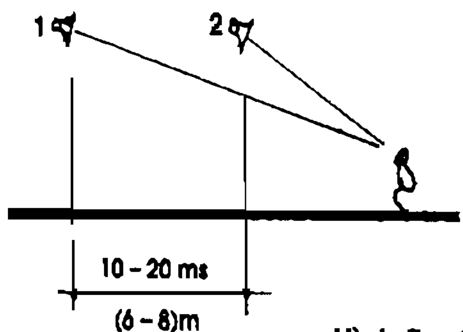
$$\ell = 0{,}057\sqrt{\frac{V.Q}{T_{60}}} \quad \text{(mét)}$$

Trong đó: **V** – thể tích phòng, m^3.

Q – hệ số định hướng của loa trên hướng nhất định

T_{60} – thời gian âm vang (giây) trong phòng

4. Đảm bảo cảm giác thật về âm thanh



Hình 7 - 1

Cảm giác thật về âm thanh bao gồm hai yêu cầu: âm sắc (thành phần tần số), cảm giác lập thể. Cảm giác lập thể là cảm giác thống nhất giữa nhìn và nghe, âm đến từ nguồn thật không phải từ loa. Thông thường dễ phân biệt âm tần số cao, phương vị trái phải, khó phân biệt tần số thấp, phương vị trước sau, cao thấp.

Nếu trước thính giả có 2 loa truyền âm của diễn giả (hình 7-1) âm từ loa 1 đến chậm hơn âm từ loa 2 không quá 10 ÷ 12ms (tương đương với 6 ÷ 8m) mức âm chênh lệch nhau không quá 6 ÷ 8dB sẽ nghe như một âm duy nhất. Hiệu quả này có ý nghĩa quan trọng sẽ nói ở phần sau.

Khi biểu diễn, diễn viên di chuyển liên tục trên sân khấu, nghe và nhìn luôn luôn thống nhất với nhau.

5. Phối hợp chặt chẽ với xử lý chất lượng âm kiến trúc

Muốn có được chất lượng âm tốt, trước tiên xử lý tốt chất lượng âm kiến trúc, đạt được các điều kiện của một phòng khán giả đủ tiện nghi nghe nhìn.

Khi thiết kế các mặt phản xạ thường mâu thuẫn với việc sử dụng hệ thống điện thanh. Đối với những mặt phản xạ sân khấu, nếu không có hệ thống điện thanh những mặt phản xạ này rất có lợi : đảm bảo đưa âm phản xạ tới mọi khán giả và diễn viên trên sân khấu, tạo cho diễn viên cảm giác tin tưởng toàn bộ không gian đều hưởng ứng hỗ trợ cho mình. Nếu đặt máy thu trên sân khấu những mặt phản xạ này gây những hậu quả bất lợi, khi đó cường độ phản xạ càng lớn, máy thu thu được năng lượng âm càng nhiều, nếu quá trình xảy ra nhanh sẽ gây hiện tượng chối tai, nếu xảy ra chậm sẽ gây nhiễu, giảm độ rõ trầm trọng.

Trong một số phòng, đặc tính âm học của phòng luôn luôn thay đổi theo sự có mặt của khán giả nhiều hay ít, nhất là phòng sử dụng ghế gỗ cứng hoặc những phòng có nhiều cửa sổ, vì vậy khi thiết kế hệ thống điện thanh cần kết hợp chặt chẽ với xử lý âm kiến trúc.

III. SƠ LƯỢC VỀ MÁY THU (micrô)

Có hai loại máy thu cơ bản:

- **Máy thu không định hướng:** độ nhạy như nhau đối với âm thanh đến từ mọi hướng.

- **Máy thu định hướng:** chỉ nhạy với âm đến từ một hay một số hướng nào đó.

Sử dụng máy thu định hướng có thể giảm bớt hiện tượng phản quy, do vậy hầu hết hệ thống điện thanh đều sử dụng loại máy thu này. Vì hiệu suất của phần lớn các loa và chất lượng âm của phòng phụ thuộc vào tần số, hiện tượng phản quy chỉ xuất hiện ở một số tần số nào đó nhạy nhất đối với máy thu và loa, đó chính là những tần số dao động riêng của phòng dễ bị máy thu và loa kích động nhất.

Có nhiều loại máy thu định hướng, phạm vi tác dụng khác nhau, lựa chọn sử dụng theo yêu cầu cụ thể.

Khi bố trí máy thu, căn cứ vào phạm vi tác dụng của máy, vị trí nguồn âm tự nhiên, xác định hợp lý khoảng cách giữa máy thu và nguồn âm. Khoảng các quá gần âm sẽ bị méo, khoảng cách quá xa máy thu chỉ thu được âm vang, âm nghe mơ hồ.

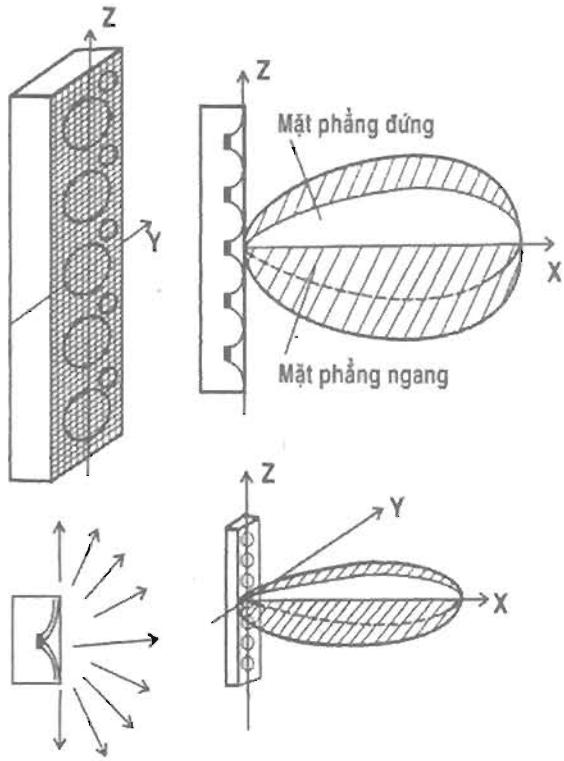
Trường hợp cần phóng đại tiếng nói của một số diễn viên cố định, tốt nhất mỗi vị trí nên có một máy thu riêng. Các máy thu không làm việc đồng thời, nếu đồng thời thu âm sẽ có một số máy thu chỉ thu được âm vang, âm nghe không rõ.

Khi biểu diễn, rất khó bố trí máy thu vì vừa bảo đảm dấu kín vừa bảo đảm thu được âm trên toàn bộ sân khấu. Thường phải dùng rất nhiều máy thu, khoảng cách giữa máy thu với diễn viên khá lớn và thay đổi thường xuyên khi biểu diễn nên âm phóng đại là âm vang, độ to của âm thay đổi nhiều .. Những vấn đề này, kỹ thuật hiện nay chưa giải quyết được, chưa tạo được loại máy thu có đủ tính năng như ý muốn.

IV. SƠ LƯỢC VỀ LOA

Chúng ta chỉ nghiên cứu tính chất bức xạ âm của hộp loa hoặc cột loa, không nghiên cứu tính chất bức xạ âm của loa bát (loa nén) vì loại loa này rất ít sử dụng trong hệ thống tăng âm kiến trúc. Ưu điểm chủ yếu của loa nén là hiệu suất cao, nhưng không quan trọng đối với chất lượng âm trong phòng.

Hệ thống tăng âm kiến trúc thường dùng cột loa hoặc hộp loa (hình 7 - 2) cấu tạo bằng một hay nhiều loa điện động hình chóp tròn đường kính 15 ÷ 30cm, loại loa này đối với âm tần số thấp ($f \leq 200Hz$) bức xạ đều trên mọi hướng, đối với âm tần số trung ($f = 200 \div 1000Hz$) loa bức xạ ra phía sau tương đối ít so với phía trước, phía trước trong phạm vi 180^0, bức xạ tương đối đồng đều. Đối với âm tần số cao loa bức xạ thành một chùm phía trước, tần số càng cao chùm bức xạ càng hẹp, không bức xạ ra phía sau. Do tính chất đó nếu chỉ sử dụng một hộp loa hoặc cột loa, chỉ những chỗ ngồi trong phạm vi của trục âm mới nhận được âm đủ các tần số, những thính giả ngồi hai bên trục âm không nhận được âm tần số cao là những âm có tác dụng quan trọng đối với độ rõ. Để tránh những thiếu sót này thường sử dụng một số hộp loa hoặc cột loa phân bố bức xạ âm trên toàn bộ chỗ ngồi.



Hình 7 - 2. Chùm âm bức xạ của cột loa

Có thể giảm bớt tính định hướng âm tần số cao bằng cách đồng thời sử dụng hai loại loa: một loại loa tương đối lớn phụ trách bức xạ âm tần số thấp hơn 500Hz hoặc 1000Hz, một loại loa bé hơn phụ trách bức xạ âm tần số cao. Loa càng bé tính định hướng càng mạnh, kết hợp hai loại loa như vậy trong cột loa hay hộp loa sẽ tránh được tính định hướng quá hẹp.

Không nên sử dụng loa nhỏ hơn 15cm độc lập vì loại loa này không bức xạ âm thấp tần, công suất không đủ yêu cầu dù là phòng nhỏ, nhưng sử dụng kết hợp với loa lớn có thể đạt được yêu cầu vì chỉ có 10% công suất âm bao gồm từ tần số 1000 Hz trở lên.

Trong hộp loa hoặc cột loa, đặt thứ tự một số loa điện động thông thường liên kết đồng pha, do tác dụng giao thoa, tạo nên sự lệch pha tại một số điểm nào đó giữa các loa trên hướng dọc (do chênh lệch đường đi) làm cho phạm vi bức xạ trên hướng này hẹp lại, nhưng trên hướng nằm ngang tính định hướng nhỏ hơn loa thường, tạo thành một chùm tia dẹt trên phương nằm ngang.

Sử dụng hộp loa hay cột loa có thể đưa đại bộ phận âm trực tiếp tới người nghe, âm vang yếu đi, tăng độ rõ.

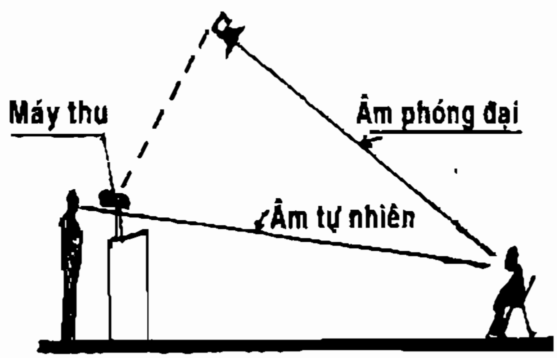
Cột loa càng cao tính định hướng càng mạnh. Lựa chọn cột loa có cấu tạo hợp lý đảm bảo chùm âm định hướng bao gồm dải tần số đủ rộng của tiếng nói và âm nhạc, bức xạ trên mặt phẳng nằm ngang 180^0 và trên hướng dọc đủ hẹp.

V. BỐ TRÍ LOA

Chất lượng âm của hệ thống điện thanh phụ thuộc vào vị trí loa.

Vị trí loa xác định theo nguyên lý âm hình học đã trình bày trong các chương trước.

Trong phòng, khi có hệ thống điện thanh, thính giả nhận được ít nhất hai âm đồng thời tới từ hai nguồn khác nhau (hình 7 - 3), âm tự nhiên đến từ diễn giả và âm phóng đại đến từ loa.



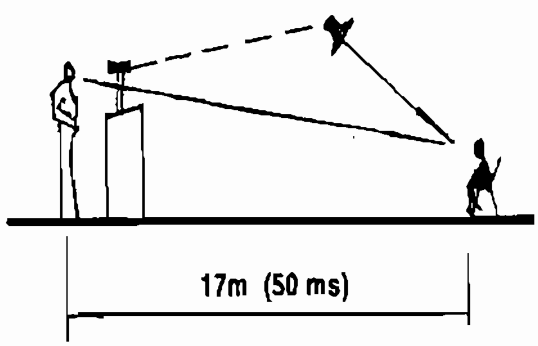
Hình 7 - 3

Âm tự nhiên đến trước hay âm từ loa đến trước phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa diễn giả và loa. So với âm tự nhiên, mức âm đến từ loa có thể lớn hơn hoặc bé hơn, thường lớn hơn. Nếu có nhiều loa, thính giả có thể đồng thời nhận được nhiều âm như nhau đến từ những loa khác nhau, khi đó chênh lệch độ to và thời gian đến của các âm có ý nghĩa quan trọng.

Muốn nghe như một âm duy nhất và như đến từ diễn giả cần có những điều kiện sau đây:

- Chênh lệch thời gian giữa các âm đến từ những nguồn khác nhau không quá 35 mS, khi đó nghe như một âm duy nhất, tăng được độ to.

- Thỏa mãn hiệu ứng Hass (Hass là người đầu tiên đưa ra hiệu ứng này), nếu âm đầu tiên và những âm lặp lại có cùng độ to, đến liên tục sau âm đầu tiên trong vòng 25mS sẽ nghe như âm đến từ hướng của âm đầu tiên (25mS tương ứng với 8,5m).



Hình 7 - 4. Hiệu ứng Hass

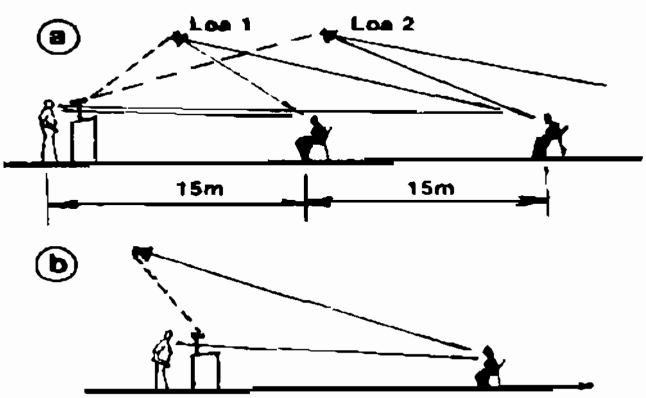
Để rõ hơn, xem thí dụ sau đây: (hình 7 - 4).

Một thính giả ngồi cách diễn giả 17,0 m, phía trước thính giả, một chiếc loa nối từ micrô đặt trước người nói chuyện. Âm tự nhiên đến thính giả cần 50 mS. Âm khuếch đại tới loa, vì

truyền trong mạch điện nên quãng đường truyền 17m tới thính giả coi như không mất thời gian. Nếu hai âm này cùng độ to tới thính giả, thính giả nghe như một âm và âm đến từ loa (là âm tới trước) không phải đều từ diễn giả. Nếu như đặt một thiết bị kéo dài thời gian giữa mạch điện nối từ micrô và loa để âm phát ra từ loa chậm hơn âm tự nhiên. Thí du kéo dài 70mS, âm tự nhiên sẽ đến trước 70 – 50 = 20mS, khi đó thính giả sẽ cảm thấy như không có loa, âm như đến từ nguồn tự nhiên. Đó là một hiệu ứng vô cùng quan trọng, nhờ hiệu ứng này có thể bố trí loa một cách hợp lý.

Thực tế, hiệu ứng Hass không những đúng khi các âm cùng độ to mà cả trường hợp các âm kéo dài có độ to gấp bội âm tư nhiên đến trước.

Có thể ứng dụng hiệu ứng Hass cho những khoảng cách rất xa: những thính giả ngồi cách nguồn âm tự nhiên ngoài 15 mét cần có sự hỗ trợ của một chiếc loa (hình 7 - 5a). Thí dụ loa 1 đảm bảo cung cấp đủ độ to và độ rõ cho những thính giả trong phạm vi 15 mét, những thính giả ngồi cách nguồn âm tự nhiên ngoài 30 mét cần có sự hỗ trợ của một chiếc loa khác nữa, loa 2 chẳng hạn. Trên mạch điện giữa micrô và loa 1, giữa micrô và loa 2 đặt hai thiết bị kéo dài thời gian và đều kéo dài 70 mS để cho thính giả ngồi gần loa 2 nhận được âm tự nhiên trước rồi nhận được âm đến từ loa 1, sau cùng nhận được âm to nhất đến từ loa 2.



Hình 7 - 5

Về mặt âm học, nếu âm tư nhiên không gây được cảm giác từ nguồn tự nhiên, ít nhất cũng gây cảm giác đến từ loa 1, nhưng loa 1 ở giữa người nghe và nguồn thật cho nên cảm thấy như âm đến từ nguồn thật.

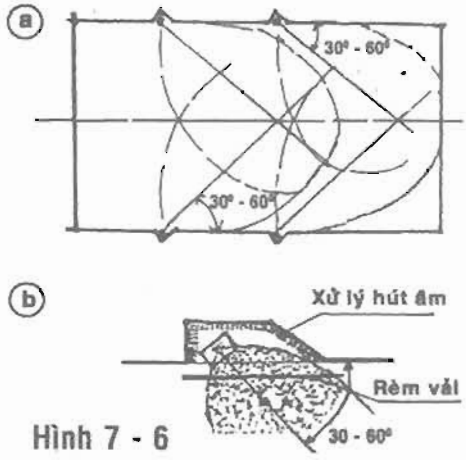
Nếu hệ thống chỉ có một chiếc loa đặt gần nguồn thật và đủ điều kiện để âm từ loa đến châm hơn âm tư nhiên, trường hợp này đơn giản nhất. Nếu loa cách xa thính giả hơn so với nguồn thật (hình 7 - 5b) âm tự nhiên sẽ đến trước, âm phóng đại không làm cho thính giả chú ý. Trường hợp này dễ gây hiên tương phản quy, vì khi đó loa ở gần vùng nhạy của micro. Phải nghiên cứu đặt loa ngoài vùng nhạy của micro.

Những nguyên tắc cần lưu ý khi bố trí loa

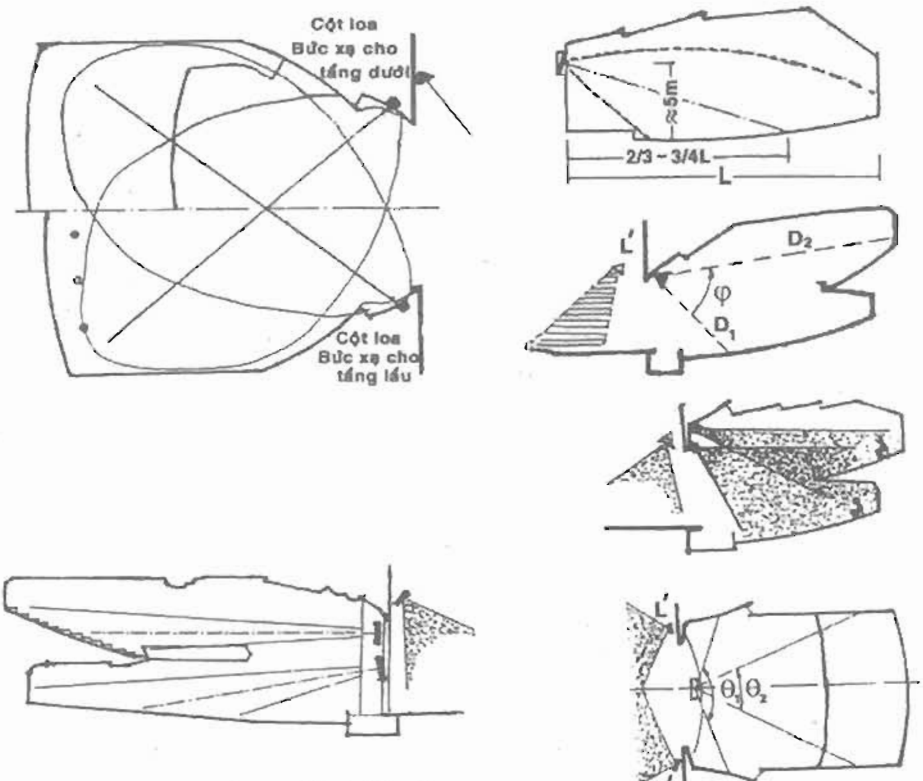
1. Loa phát âm luôn luôn ở phía trước người nghe trừ trường hợp sắp xếp khán giả tự do.

2. Âm trực tiếp đến người nghe không vượt qua chướng ngại, không vượt qua đầu khán giả, không lan truyền song song với mặt hút âm.

3. Khi bố trí loa trên hai tường bên (hình 7 - 6a) trục âm của loa nhìn ra sau, hợp với mặt tường một góc 30 – 60^0. Không cho phép bố trí trục âm vuông góc với mặt tường nếu hai tường song song nhau.



Hình 7 - 6



Hình 7 - 7

4. Cố gắng rút bé hốc đặt loa, bố trí hợp lý vật liệu hút âm trong hốc, chung quanh hốc. Đặt loa sát mặt ngoài của hốc để chùm âm không bị cản (hình 7 - 6b).

5. Áp dụng các biện pháp cố định loa, chống rung cho loa.

6. Khi bố trí loa trên miệng sân khấu, trục âm của loa rơi đúng trên hàng ghế cuối cùng hoặc 2/3 chiều dài vùng chỗ ngồi (hình 7 - 7).

7. Nếu cần che hốc loa, dùng sản phẩm dệt đặc biệt có sức cản bé và treo tự do (hình 7 - 6b).

8. Tạo điều kiện dễ dàng để sửa chữa hoặc điều chỉnh loa.

9. Bố trí loa trên trần, trục âm của loa nghiêng với mặt trần và hướng ra phía sau.

Bố trí phân tán nhiều loa trên trần sẽ hình thành mặt sóng phẳng, lan truyền xuống sàn, nếu sàn có khả năng phản xạ sẽ tạo thành sóng đứng. Để khử hiện tượng này, thường xử lý hút âm cao trên mặt trần, nếu sàn bố trí đầy chỗ ngồi có thể xử lý hút âm ở trần ít hơn.

Thông thường khi bố trí loa trên trần, sử dụng loa nhỏ, tường sau xử lý hút âm cao, để tránh gây hiện tượng phản quy làm giảm độ đồng đều của trường âm trong phòng.

VI. PHÂN LOẠI HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Theo cách bố trí loa, có thể phân hệ thống điện thanh thành ba loại: Hệ thống tập trung. Hệ thống phân tán. Hệ thống hỗn hợp.

- Hệ thống tập trung:

+ Hệ thống tập trung lập thể

+ Hệ thống tập trung thông thường

- Hệ thống phân tán:

+ Hệ thống phân tán từng nhóm

+ Hệ thống phân tán hoàn toàn.

- Hệ thống hỗn hợp:

Hệ thống tập trung thích hợp với biểu diễn: hoà nhạc, ca vũ kịch. Trong những điều kiện nhất định cũng có thể thỏa mãn yêu cầu hội họp, nói chuyện. Hệ thống phân tán thích hợp với hội họp, nói chuyện, không tạo được cảm giác lập thể, phạm vi hưởng ứng tần số thường không đủ rộng.

1. Hệ thống tập trung (hình 7 - 8)

Hệ thống tập trung thường bố trí loa trên miệng sân khấu, có thể là một hộp loa, một nhóm hộp loa hoặc một tổ hợp nhiều loa âm tần khác nhau. Cách bố trí này đơn giản, cảm giác phương vị tốt, khi nguồn âm không di động trái phải, chỉ di động lên xuống.

Điều kiện sử dụng:

- Trường hợp chỉ có một loa hoặc một nhóm loa đặt giữa phía trên miệng sân khấu, thích hợp với biểu diễn ca nhạc, hội họp, nói chuyện, nguồn âm không di động sang hai bên phải trái, nếu không sẽ không đủ cảm giác lập thể.

- Trường hợp có hai loa hoặc hai nhóm loa bố trí hai bên miệng sân khấu hoặc ba loa hay ba nhóm loa bố trí thành ba cụm trái, phải, giữa, phía trên miệng sân khấu, tạo được cảm giác lập thể tốt.

- Sử dụng trong những phòng kích thước trung bình, quãng đường của âm trực tiếp không quá xa, hình dáng phòng không đặc biệt.

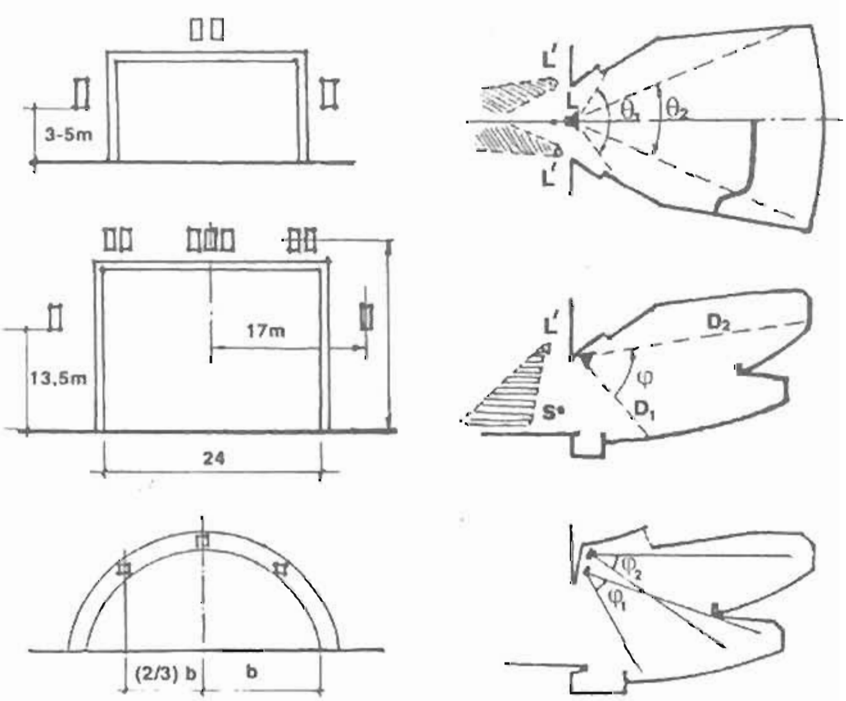
Yêu cầu độ đồng đều của trường âm không quá 6dB.

- Phòng không có điều kiện sinh hiện tượng tiếng dội từ tường sau quá mạnh.

Trên miệng sân khấu đủ chỗ đặt loa, vì rằng loa định hướng, bề mặt trần trên miệng sân khấu không đủ cao tạo nên âm phản quy. Nếu $D_2/D_1 > 2$ phân biệt bố trí hai nhóm loa, chia góc bức xạ φ thành φ_1, φ_2, trong đó một nhóm loa đặt cao hơn, phụ trách nửa phần sau của khu vực khán giả, một nhóm loa khác đặt thấp hơn phụ trách phần khán giả phía trước, góc bức xạ θ_1 (trên mặt bằng) và φ_1 (trên mặt cắt) (hình 7 - 8), có thể bố trí kết hợp với loa thấp tần.

Chú ý bố trí loa cho âm phóng đại đến sau âm tự nhiên 20 – 25mS (tương ứng với quãng đường chênh lệch 6 – 8m) khi đó, ngay ở hàng ghế đầu cũng nghe như âm đến từ nguồn tự nhiên.

Nếu sử dụng cột loa tập trung, thường bố trí cột loa trong hốc tường hai bên miệng sân khấu, hoặc đặt ngoài tường.



Hệ thống tập trung 3 nhóm loa — Hệ thống tập trung 1 nhóm loa ở giữa

Hình 7 - 8. Hệ thống loa tập trung

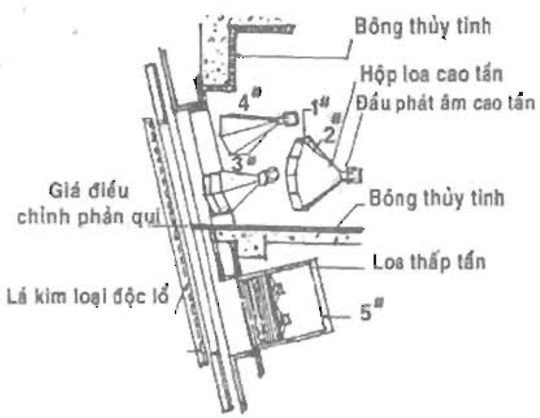
Lựa chọn cột loa có đủ những tính năng cơ bản sau:

- Tính định hướng mạnh trên phương chiều cao, tần số ổn định.
- Không có tính định hướng trên phương nằm ngang, nếu không trường âm sẽ không đều.
- Bức xạ âm ra phía sau nhỏ hơn phía trước, ít nhất 6dB với mọi tần số.
- Kích thước nhỏ, gọn.

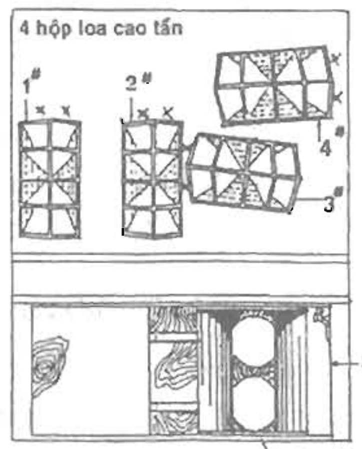
Tính định hướng là đặc điểm chủ yếu của cột loa, đặc điểm này quyết định do tần số và chiều cao L của cột loa. Đặc trưng tính định hướng của cột loa bằng góc bức xạ θ trên phương thẳng đứng:

$$\theta = 2\lambda/L$$

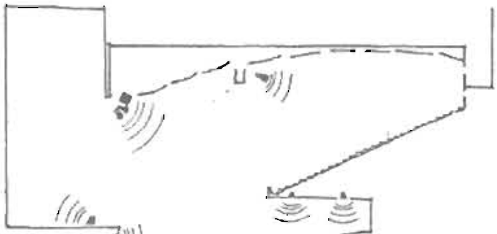
L càng cao, λ càng nhỏ, chùm định hướng càng nhọn (hình 7 - 9).



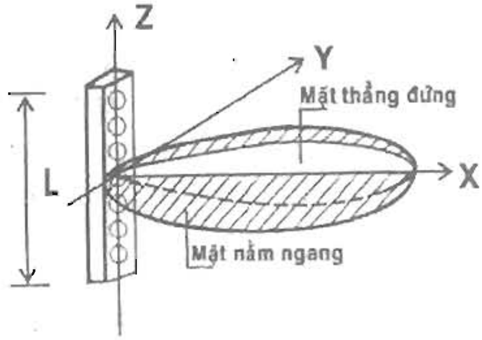
Nhóm loa tập trung trong cung hội nghị trụ sở Liên hợp quốc. Loa 1#, 2# phát xạ vào vùng giữa và sau. Loa 3#, 4# phát xạ vào khu vực trước và giữa. Loa 5# phát xạ trên toàn vùng chỗ ngồi



Bít kín những ô loa gạch X để tránh gây nhiễu và phản xạ bất lợi



Hệ thống hỗn hợp tập trung phân tán



Hình 7 - 9. Hệ thống loa tập trung

Tính định hướng của cột loa trợ giúp xử lý chất lượng âm trong phòng rất nhiều:

- Tăng độ rõ trong những không gian kiến trúc lớn, thời gian âm vang dài.

- Bổ sung âm trực tiếp cho những khoảng cách xa.

- Đảm bảo máy thu nằm ngoài vùng bức xạ định hướng của cột loa, không gây hiện tượng phản quy, nhưng chú ý khả năng nhiễu loạn của âm thấp tần khi bố trí máy thu và cột loa.

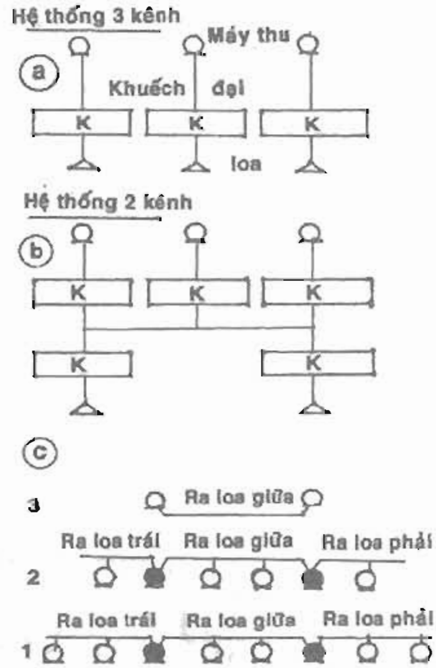
Hệ thống tập trung lập thể, yêu cầu bố trí nhiều micro trên sân khấu và phân thành ba kênh: trái, phải, giữa dẫn tới các máy khuếch đại đưa ra loa, khi biểu diễn, nguồn tự nhiên đến gần micro nào micro đó thu âm và loa liên hệ với kênh đó phát âm, tạo nên cảm giác phương vị.

Hệ thống lập thể đơn giản nhất thường thấy:

- Hệ thống ba kênh (hình 7 - 10a).

- Hệ thống hai kênh (hình 7 - 10b).

Hệ thống hai kênh thường áp dụng khi không có chỗ đặt loa giữa, nhất là đối với nhà hát ngoài trời.



Hình 7 - 10. Một phương thức bố trí máy thu

Nguyên tắc bố trí micro trên sân khấu

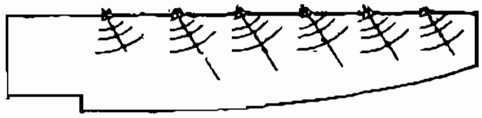
Căn cứ vào phạm vi hoạt động của nguồn tự nhiên khi biểu diễn và phạm vi tác dụng của micro, chú ý việc tiếp âm trong khoảng cách quá độ chuyển từ kênh này sang kênh kia, đảm bảo liên tục khi nghe âm. Để rõ thêm về phương pháp bố trí micro có thể xem thí dụ bố trí micro như (hình 7- 10c), trong đó dãy micro 1 đặt ở môi sân khấu để thu tiếng động trên mặt sân khấu, dãy micro giữa (2) và sau (3) bố trí trên đầu diễn viên.

Khi sử dụng hệ thống âm lập thể, thời gian âm vang trong phòng yêu cầu tương đối ngắn, ngắn hơn thời gian âm vang thông thường 10 – 20%. Đặc tính tần số của thời gian âm vang bằng phẳng. Để tránh âm phản xạ tương đối mạnh sau âm trực tiếp 5mS, gây cảm giác âm đổi vị trí, yêu cầu xử lý hút âm tường hai bên và trần gần miệng sân khấu. Yêu cầu này mâu thuẫn với trường hợp không dùng hệ thống điện thanh, do đó khi thiết kế, nghiên cứu cụ thể.

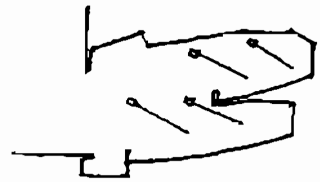
2. Hệ thống phân tán

Hệ thống phân tán từng nhóm, gồm nhiều nhóm đặt ở những vị trí khác nhau trong phòng, mỗi nhóm loa có thể là một hộp loa hoặc nhiều hộp loa chịu trách nhiệm cung cấp năng lượng âm trực tiếp cho khu vực khán giả lân cận (hình 7 - 11).

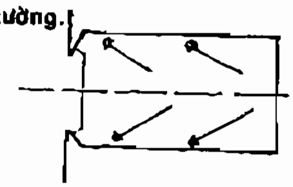
Sử dụng hệ thống này có thể tạo được trường âm đồng đều, vì loa đặt gần người nghe, nhận được mức âm trực tiếp đủ lớn, do đó trong phòng thời gian âm vang dài vẫn có thể đảm bảo độ rõ cao, khó gây hiện tượng tiếng dội và phản quy.



Hệ thống loa phân tán bố trí trên trần.



Loa phân tán bố trí trên tường.



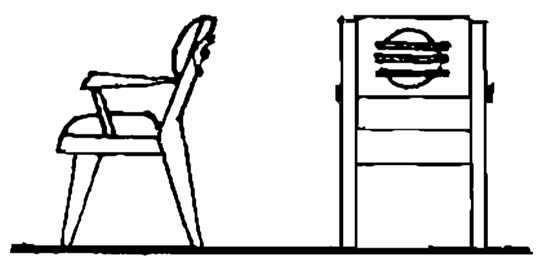
Hình 7 - 11. Hệ thống loa phân tán

Hệ thống phân tán từng nhóm chỉ thích hợp với hội họp, nói chuyện, không yêu cầu cảm giác lập thể.

Khi hội họp, nói chuyện, phương của âm từ các loa tới trùng với phương của diễn giả, bảo đảm mọi chỗ ngồi đều nhận được một âm duy nhất, muốn đạt được mục đích đó, khoảng cách giữa các loa không nên vượt quá 6-8mét, đồng thời điều chỉnh để mức âm không chênh lệch quá nhiều, đảm bảo hiệu ứng Hass, đặt thiết bị kéo dài thời gian phù hợp, tạo cảm giác âm đến từ diễn giả.

Hệ thống phân tán hoàn toàn, sử dụng nhiều loa hình nón công suất nhỏ (0,1 – 0,25 Watt) lắp sau ghế ngồi (hình 7 - 12).

Hệ thống này thường sử dụng trong các giảng đường, hội trường lớn, ưu điểm của hệ thống là khán giả rất gần loa, âm trực tiếp nhiều, trường âm đồng đều, độ rõ cao, không sợ xuất hiện hiện tượng phản quy.



Hình 7 - 12. Hệ thống loa phân tán bố trí sau ghế

3. Hệ thống hỗn hợp tập trung và phân tán

Hệ thống hỗn hợp bao gồm nhóm loa tập trung dùng cho biểu diễn và nhóm phân tán sử dụng khi hội họp, nói chuyện. Hệ thống này thường sử dụng cho phòng đa chức năng, yêu cầu chất lượng âm cao.

Hệ thống phân tán chuyên dùng cho hội họp nói chuyện yêu cầu độ rõ cao, thể tích phòng lớn, khoảng cách xa, hình dáng phòng phức tạp ...

Hệ thống tập trung gồm một nhóm loa tập trung, đồng thời bố trí loa phân tán ở những nơi hiểm yếu trong phòng, trên những mạch loa đặt thiết bị kéo dài thời gian.

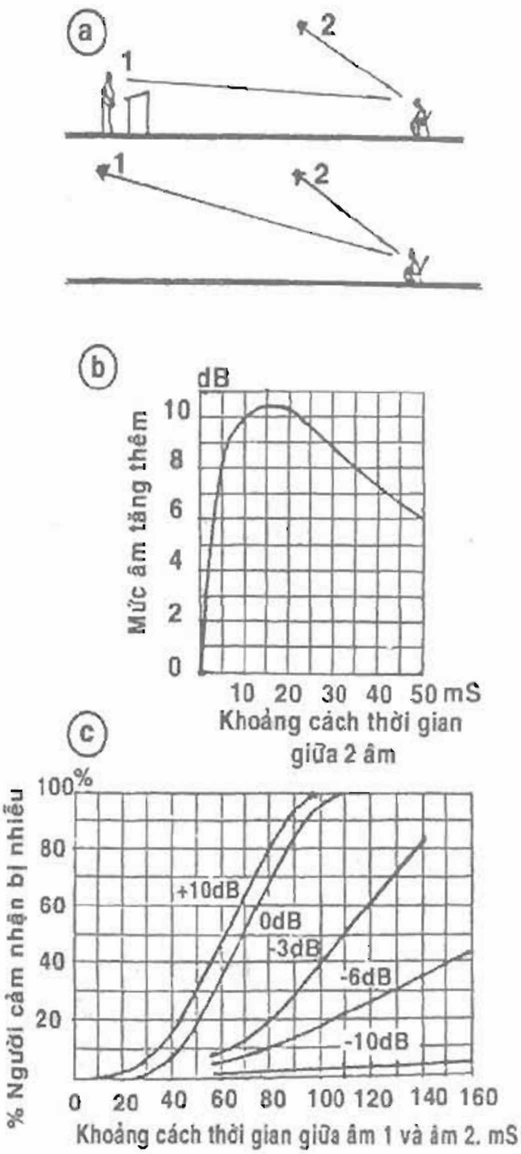
VII. THIẾT KẾ KÉO DÀI THỜI GIAN

Chúng ta xét hai biểu đồ thực nghiệm sau (hình 7 - 13b, c).

- **Biểu đồ hình 7 - 13b:** Thiết lập quan hệ giữa mức âm tăng thêm với khoảng cách thời gian giữa hai âm tới thính giả.

Giả sử âm thứ 1, nguồn âm tự nhiên (diễn giả, diễn viên ..), âm thứ 2, do loa gần đó lặp lại, hoặc âm thứ 1 đến từ loa xa hơn âm thứ 2 do loa gần hơn lặp lại.

Từ biểu đồ dễ dàng thấy rằng: nếu âm thứ 2 đến thính giả sau âm thứ 1 : 10mS, muốn cho hai âm nghe to bằng nhau, âm thứ 2 phải to hơn âm thứ 1 : 10dB. Thực tế chúng ta không hy vọng hai âm nghe to bằng nhau. Đối với thính giả ngồi trước, nguồn âm thứ 1 là diễn giả hay diễn viên, âm thứ 2 tới từ loa gần nhất. Điều quan trọng, không để thính giả cảm thấy có âm thứ 2. Muốn vậy, âm thứ 2 không được to hơn âm thứ 1 : 10dB và thời gian chậm 10mS. Thực tế nếu kéo dài thời gian làm cho âm thứ 2 to hơn âm thứ 1 từ 5 – 10dB và đến chậm hơn 4 – 25mS đủ đạt yêu cầu.



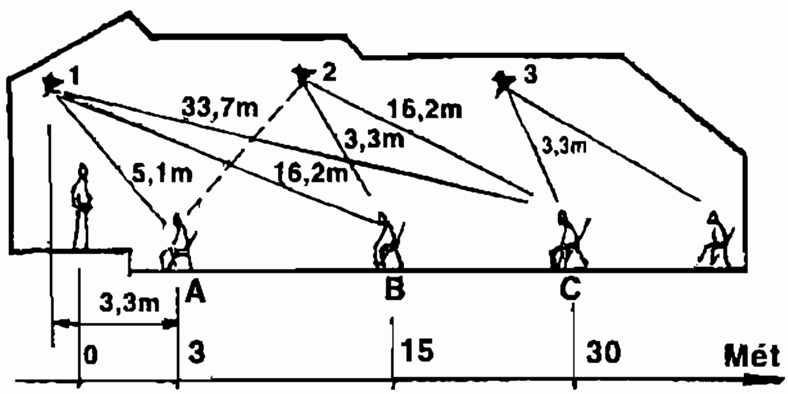
Hình 7 - 13. Điều kiện để nghe âm đến từ nguồn tự nhiên

- **Biểu đồ hình 7 - 13c:** Thiết lập quan hệ giữa số phần trăm thính giả cảm thấy bị nhiễu với mức chênh lệch giữa hai âm và khoảng cách thời gian giữa hai âm đó.

Biểu đồ cho thấy: Nếu âm thứ 2 to hơn âm thứ 1 : 10dB và chậm hơn 30mS sẽ có 10% thính giả cảm thấy bị nhiễu, do đó nếu âm thứ 2 lớn hơn âm thứ 1 : 0dB, không nên đến chậm quá 30mS. Ngược lại, nếu âm thứ 2 nhỏ hơn âm thứ nhất 6dB nên chậm hơn 80mS.

Để giải thích cách sử dụng hai biểu đồ này, chúng ta xét thí dụ sau:

Giả sử có một mặt cắt phòng như (hình 7-14), loa 1 đặt trên đầu diễn giả, cách thính giả A trên mặt phẳng nằm ngang 3,3m. Thính giả A nhận được âm tự nhiên trước tiên, 5mS sau đó nhận được âm của loa 1, theo trên đây âm của loa 1 có thể to hơn âm tự nhiên 10dB, thính giả A không nhận ra âm đến từ loa 1.



Hình 7 - 14. Cho thí dụ ứng dụng hiệu ứng Hass

Thực tế không dễ dàng đạt được hiệu quả đó, vì muốn đạt được phải biết độ to của âm, đồng thời phải điều chỉnh thường xuyên âm lượng của loa 1 để tổng độ to của âm ở hàng ghế 1 nghe vừa đủ. Nếu âm tự nhiên và của loa 1 cùng độ to, âm tự nhiên rất dễ chiếm ưu thế. Nếu âm của diễn giả nhỏ, phải điều chỉnh loa 1 để thỏa mãn yêu cầu, nếu loa 1 vượt quá mức chênh lệch cho phép 10dB, phải điều chỉnh ngược lại. Cách tổ chức như vậy thực tế cũng không gây hiện tượng nhiễu loạn quá lớn, vì ngoài những thính giả ngồi rất gần diễn giả, âm từ loa 1 và diễn giả thực tế là cùng hướng tới.

Tại thính giả **B**, cách diễn giả 15m, vì âm lượng tự nhiên và âm từ loa 1 đến đều suy yếu nên phải đặt thêm loa 2 cách đầu thính giả **B** 3,3m, trên mạch điện tới từ loa 2 đặt thiết bị kéo dài thời gian. Thời gian kéo dài bằng khoảng thời gian chênh lệch giữa âm từ loa 1 với âm từ loa 2 đến thính giả **B** cộng thêm một số mS cần thiết theo hiệu ứng Hass.

Âm từ loa 1 đến **B** mất một khoảng thời gian bằng 16,2/340 ≈ 50mS

Âm từ loa 2 đến **B** mất một khoảng thời gian bằng 3,3/340 ≈ 10mS.

Chênh lệch thời gian giữa hai âm đến: 50 – 10 = 40mS.

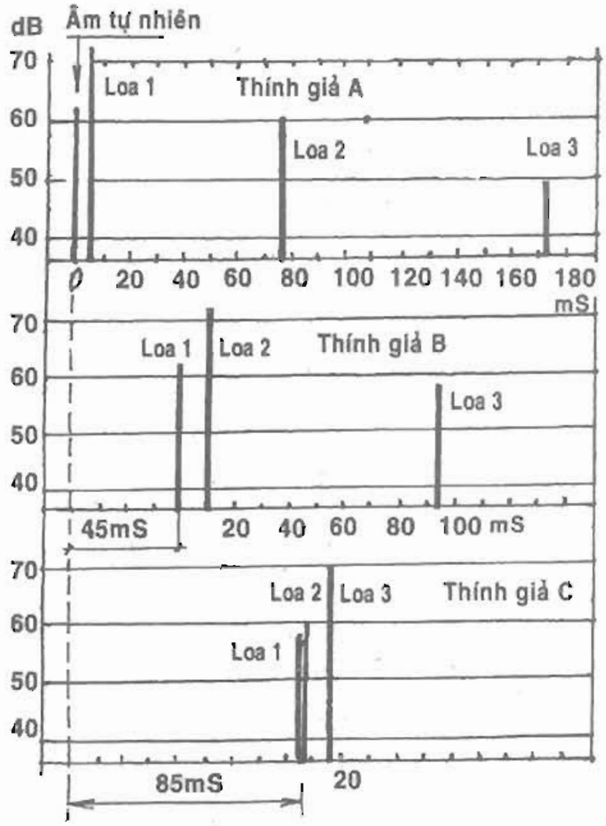
Số mS cộng thêm theo hiệu ứng Hass phụ thuộc số lượng loa còn tiếp sau loa 2. Nếu loa 2 là loa cuối cùng, theo biểu đồ hình 7 - 13b, thời gian tăng thêm tốt nhất 15mS. Nếu sau 2 loa còn loa nữa, thời gian tăng thêm này phải giảm bớt để phân bố cho loa sau. Nhận thời gian tăng thêm cho loa 2 là 10mS, tổng thời gian kéo dài cho loa 2 bằng 40 + 10 = 50mS. Có thể

thừa nhận, tới thính giả **B** chỉ có âm của loa 1 và loa 2, bỏ qua âm tự nhiên vì rất bé. Độ to của loa 2 có thể điều chỉnh để khi tới **B** to hơn âm của loa thứ nhất 10dB.

Toàn bộ tình hình mô tả trong sơ đồ (hình 7 - 15):

- **Thính giả A**: Trước tiên nhận được âm tự nhiên, giả sử **L_P = 63dB**, 5mS sau đó nhận được âm từ loa 1, **L_{P1} = 73dB**. Độ to tại **A** xấp xỉ bằng **L_{P1} = 73dB** (chưa xét âm của loa 2).

- **Thính giả B**: Bỏ qua âm tự nhiên, các âm lần lượt như sau: âm của loa 1, **L_P = 73 –10 = 63dB** (– 10dB do chênh lệch khoảng cách 5, 1/16, 2), 10mS sau đó nhận được âm của loa 2, điều chỉnh loa 2 để đến thính giả **B**, mức **L_P** to hơn loa 1: 10dB, tức là **L_{P1} = 63 + 10 = 73dB**. Độ to tại **B** 73dB.



Hình 7 - 15. Ứng dụng hiệu ứng Hass

Âm của loa 2 cũng đến **A**, nếu như loa bức xạ đều ra các hướng, khi đó mức âm của loa 2 đến **A** bằng 73 –12 = 61dB và chậm hơn âm của loa 1 tới 73mS (trong đó thời gian kéo dài 50mS, thời gian để âm từ loa 2 đến **A** 38mS (13m) và trừ đi thời gian loa 1 tới **A** mất 15mS → 50 + 38 – 15 = 73mS).

Từ biểu đồ (hình 7 - 13c) cho thấy: âm loa 2 bé hơn âm loa 1: 12dB, thời gian chậm 73mS, gây ra độ nhiễu có thể bỏ qua.

Có trường hợp, trong hệ thống tăng âm tiếng nói, độ to của âm kéo dài và của âm thứ 1 có thể xấp xỉ bằng nhau, khi đó từ biểu đồ (hình 7 - 13c) tìm ra số % người bị nhiễu, nếu quá 10% phải giảm độ to của âm kéo dài. Thực tế, nếu tăng tính định hướng của loa, mức âm bức xạ ra sau loa ít nhất, bé hơn mức âm bức xạ ra phía trước 6dB, sẽ giảm được số % bị nhiễu xuống thấp hơn 10%.

Sau loa 2, đặt loa 3 cho thính giả **C**, sau thính giả **B** 15m.

- **Thính giả C**: Đầu tiên nhận được âm của loa 1, **L_P = 57dB**, 50mS sau nhận được âm của loa 2, **L_{P2} = 60dB**.

Cuối cùng nhận được âm của loa 3, mức âm phải bằng **L_{P3} = 70dB**.

Kéo dài thời gian của loa 3 bằng thời gian kéo dài cho loa 2 (50mS) cộng với thời gian âm loa 2 đến **C** (50mS) trừ thời gian âm từ loa 3 đến **C** 10mS và cộng thêm 10mS theo hiệu ứng Hass. Vậy tổng thời gian kéo dài là 100mS.

Hiệu quả âm thanh toàn hệ thống như sau:

- Tại **C**: **L_P** = 70dB.

- Tại **A**: **L_P** = 73dB.

Hai thính giả này cách nhau 27m, mức âm chênh lệch nhau 3dB. Nếu chỉ có một loa (loa 1) tại, **A: 73dB**, tại **C: 16dB**, đồng thời có hệ thống này mọi thính giả đều cảm thấy như âm đều đến từ diễn giả.

Trong thí dụ trên đây, chúng ta chỉ xét thính giả **A**, **B** và **C**, nhưng nếu hệ thống chính xác đối với những thính giả này cũng sẽ chính xác đối với những thính giả sau nó, vì thời gian đến của âm từ các nguồn đều tương ứng giống nhau. Âm đầu tiên đến một thính giả nào đó (chẳng hạn thính giả **B**, âm đầu tiên của loa 1), khi chuyển đến những chỗ ngồi phía sau, tốc độ tắt dần chậm hơn rất nhiều so với độ to của loa 2, do đó chênh lệch độ to của 2 loa cũng giảm, hiệu ứng Hass vẫn tốt.

Nếu trong hệ thống sử dụng cùng một loại loa (thường như vậy) có thể bằng phương pháp điều chỉnh điện áp tới loa để đạt được điện áp yêu cầu.

Chẳng hạn trong thí dụ trên: loa 1 cách thính giả **A** là 5,1m, mức âm tới **A** là 73dB, nếu lấy khoảng cách tiêu chuẩn bằng 1,5m, mức âm tới **A** bằng 73 + 11 = 84dB (11 dB do chênh lệch quãng đường 5,1/1,5). Tương tự, loa 2 tới **B**, mức âm cần có 73dB, thính giả **B** cách loa 2 là 3,3 mét, cho nên với khoảng cách tiêu chuẩn 1,5m, mức âm bằng 73 + 7 = 80dB (7dB do chênh lệch quãng đường 3,3/1,5), cho nên nếu hệ thống đã lắp đặt sẽ dễ dàng bố trí thêm trong mạch điện một số vol kế đo kiểm tra. Độ giảm điện áp trong loa 2, theo kết quả trên, nên điều chỉnh nhỏ hơn loa 1 là 4dB.

Bằng cách lắp những vol kế đo thử trong các mạch loa có thể dễ dàng điều chỉnh hệ thống theo ý muốn. Vì thời gian kéo dài cho các loa khác nhau, nên máy khuếch đại công suất của các loa cũng riêng biệt nhau, do đó rất dễ điều chỉnh điện áp tới các loa, khi đã điều chỉnh hợp lý, cố định sử dụng, việc tăng hay giảm đối với toàn bộ hệ thống thực hiện theo công suất âm của nguồn âm tự nhiên.

VIII. TÍNH TOÁN VÀ LỰA CHỌN HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Khi thiết kế hệ thống điện thanh trước tiên phải tiến hành kiểm tra điều kiện và đặc tính âm học của phòng, phát hiện và phân tích những thiếu sót âm học do hình dáng phòng gây ra, dự kiến phương án xử lý. Trên cơ sở đó xác định rõ hai yêu cầu:

- Yêu cầu đối với thi công: Liên quan tới mục đích và khả năng có thể sử dụng các yếu tố kiến trúc để bố trí hệ thống điện thanh.

- Yêu cầu đối với kỹ thuật: liên quan tới đặc tính của phòng, kích thước, thời gian âm vang, mức ồn ...

1. Xác định những số liệu cơ bản:

- Mức yêu cầu của trường âm $L_{y/c}$ (dB)

- Độ không đồng đều cho phép của mức âm trực tiếp trên toàn khu vực chỗ ngồi ΔL_{tt} (dB).

- Giá trị của tỷ số âm học **R**.

- Chỉ số tăng âm yêu cầu Q_{yc}.

1.1. Mức yêu cầu của trường âm ($L_{y/c}$)

Mức yêu cầu của trường âm phụ thuộc vào đặc tính của nguồn âm tự nhiên, đồng thời xác định trên cơ sở khả năng kinh tế và kỹ thuật cho phép. Yêu cầu chung, tạo được môi trường âm trong đó mức âm để thính giả nhận được bằng mức âm tự nhiên, đảm bảo điều kiện cảm thụ tốt.

- Đối với tiếng nói, $L_{y/c}$ = 80 – 86dB, tương ứng với tiếng nói bình thường ở khoảng cách 0,5 – 1mét.

- Đối với âm nhạc, $L_{y/c}$ = 94 – 96dB, mức này nhỏ hơn mức lớn nhất của trường âm trong phòng hoà nhạc với dàn nhạc lớn. Ngoài ra còn kể đến mức tăng cường của trường âm 3dB và công suất tăng gấp bội của thiết bị khi biến động. Mức lớn nhất của hệ thống phát âm nhạc có thể giảm xuống một ít, phù hợp với điều kiện cho phép của chất lượng âm. Do đó mức yêu cầu đối với hệ thống phát âm nhạc trong nhà hát bằng $L_{y/c}$ = 100dB.

1.2. Tỷ số âm học (R)

Tại một điểm nào đó của trường âm trong phòng, nếu gọi E_{tt} - năng lượng âm trực tiếp và năng lượng âm khuếch tán E_{kt}, tỷ số âm học **R**:

$$R = \frac{E_{kt}}{E_{tt}}$$

Tương đương với định nghĩa:

$$10.\lg R = L_{kt} - L_{tt}$$

Trong đó: L_{kt} và L_{tt} là mức áp suất âm trung bình của trường âm khuếch tán và trực tiếp (dB).

Giá trị **R** thay đổi trên toàn bộ khu vực ngồi của khán giả. Giá trị nhỏ nhất của **R** không nhỏ hơn 1. Khi giá trị của **R** nhỏ hơn 1 sẽ nghe âm khô.

Trong một số thiết bị đặc biệt dùng để phát tiếng nói, cho phép R_{min} = 0,5 – 1, khi yêu cầu độ rõ cao.

Giá trị cực đại của **R** phụ thuộc yêu cầu cảm thụ âm. Khi phát tiếng nói, yêu cầu độ rõ, nên lấy R_{max} tới 6 (không nên lớn hơn 6), khi phát âm nhạc, cho phép lấy R_{max} lớn hơn, nhưng khi **R > 10** chất lượng âm sẽ giảm do sự nhiễu loạn của âm vang, khi **R > 20** chất lượng âm sẽ rất xấu, không cho phép.

1.3. Chỉ số tăng âm yêu cầu (Q_{yc})

Chỉ số tăng âm yêu cầu xác định trên cơ sở bảo đảm cho mọi thính giả trên toàn bộ khu vực ngồi đủ điều kiện nghe tốt.

Khi nói chuyện bình thường, nếu đứng cách người nói chuyện 1 – 1,5m sẽ nghe rõ, cho nên đối với hệ thống tăng âm tiếng nói, giá trị của **Q** yêu cầu xác định trên cơ sở đảm bảo mức âm trực tiếp nhận được tương đương mức âm khi đứng cách nguồn tự nhiên 1 – 1,5m.

Khi tăng âm cho âm nhạc, hệ thống bảo đảm trên toàn khu vực ngồi một trường âm trực tiếp với mức âm tương đương mức âm hàng ghế thứ 15 ÷ 18 nhận trực tiếp từ dàn nhạc tới (hay diễn viên tới) tương ứng với mức âm trực tiếp nhận được khi khoảng cách tới diễn viên (hay dàn nhạc) 10 ÷ 12m.

Chỉ số tăng âm **Q** xác định như sau:

$$Q = L_{tt} - L_1 \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: L_{tt} - Mức áp suất âm trực tiếp nhận được từ loa tới (dB)

L_1 - Mức áp suất âm trực tiếp nhận được từ nguồn tự nhiên tới máy thu (micro) (dB).

Một chừng mực nào đó, giá trị của L_{tt} phụ thuộc vào vị trí của thính giả.

Giá trị của **Q** sẽ thay đổi theo vị trí ngồi, sự thay đổi này bằng độ không đồng đều của trường âm trực tiếp trong phòng.

Chỉ số tăng âm **Q** đặc trưng cho hiệu suất truyền tín hiệu âm từ điểm đặt micro thu âm của nguồn tự nhiên đến những chỗ ngồi khác nhau của thính giả.

Giá trị của **Q** yêu cầu phụ thuộc vào đặc tính của âm tự nhiên (nói chuyện, ca hát hay hòa nhạc ...) cần tăng âm (bảng 7 - 1 và bảng 7 - 2).

$Q_{y/c}$ tương ứng với điều kiện cảm thụ âm tốt nhất:

$$Q_{y/c} = 20.\lg\frac{l_1}{l_2} \quad (dB)$$

Trong đó: l_1 – khoảng cách giữa máy thu với nguồn tự nhiên (mét);

l_2 - khoảng cách có lợi nhất giữa nguồn tự nhiên tới thính giả (mét).

Bảng 7 - 1. Giá trị $L_{y/c}$, $[\Delta L_{tt}]$, R_{min} và R_{max}

Mục đích sử dụng hệ thống điện thanh	Mức áp suất âm yêu cầu của trường âm $L_{y/c}$ (dB)	Độ không đồng đều của mức âm trực tiếp ΔL_{tt} (dB)	R	
			R_{min}	R_{max}
- Phát âm nhạc và ca hát	100	≤ 6	≥ 1	8-10
- Phát chương trình âm nhạc, tăng âm cho tiếng nói.	91-96	≤ 6	≥ 1	8-10
- Phát tiếng nói, còn sử dụng để phát chương trình âm nhạc.	94-96	≤ 8	≥ 1	4-6
- Phát tiếng nói.	80-86	≤ 8	≥ 0,5	4-6
- Phát tiếng nói trong điều kiện mức ồn cao	Mức tính toán cao hơn mức ồn 10 – 15dB, nhưng không quá 96 – 100dB	Chưa đưa vào tiêu chuẩn, chủ yếu đảm bảo độ rõ		

Bảng 7 - 2

Mục đích sử dụng hệ thống điện thanh	Khoảng cách từ nguồn tự nhiên tới máy thu l_1 (m)	Khoảng cách tốt nhất từ nguồn tự nhiên tới thính giả l_2 (m)	$Q_{y/c} = 20.\lg\frac{l_1}{l_2}$ (dB)
- Phát tiếng nói.	0,3 - 0,5	1-1,5	10 – 14
- Phát âm dàn nhạc, hợp xướng, ca nhạc.	3	12	12
- Phát âm độc tấu khi xa micro.	1 - 2	3 – 6	10
- Phát âm độc tấu khi gần micro.	0,5 - 1	3 – 6	16

2. Thiết kế hệ thống điện thanh

Khi đã xác định những số liệu cơ bản, tiến hành tính toán âm học: chọn loa, micro, máy khuếch đại ...

Tính toán hệ thống điện thanh theo trình tự sau đây:

- Xác định thời gian âm vang tối ưu, tính tổng lượng hút âm **A**.
- Tính công suất yêu cầu của loa. Tính L_{kt}, L_{tt}.
- Chọn hệ thống loa.
- Tính trường âm khi bố trí loa và micro.
- Chọn thiết bị và lập biểu đồ mức âm.
- Tính Q_{yc} và chọn micro.

2.1. Xác định thời gian âm vang tối ưu, tính tổng lượng hút âm A

Trình tự hoàn toàn giống như khi không có hệ thống điện thanh (đã trình bày trong các chương trước).

2.2. Tính L_{kt}, L_{tt}, công suất âm yêu cầu của loa (W_a)

Có thể sử dụng những công thức sau để xác định mức áp suất âm trực tiếp và khuếch tán trung bình:

$$L_{tt\,tb} = L_{tb} - 10.\lg(1 + R_{tb}) \quad \text{(dB)}$$

$$L_{tt\,min} = L_{tt\,tb} - 0,5.\,\Delta L_{tt} \quad \text{(dB)}$$

$$L_{kt} = L_{tb} - 10.\lg\left(\frac{1 + R_{tb}}{R_{tb}}\right) \quad \text{(dB)}$$

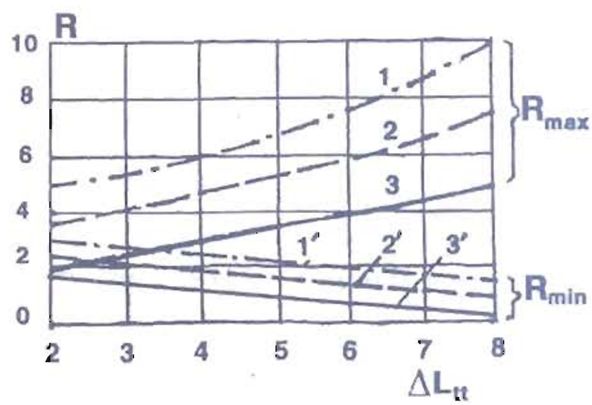
Giá trị R_{min}, R_{max} tìm được trong giới hạn đã cho ở bảng 7 - 1, hoặc tìm từ biểu đồ (7 - 16). Trường hợp không đạt phải thay đổi giá trị R_{tb}, trong đó ΔL_{tt} lấy giá trị theo bảng 7 - 1, còn R_{tb} chọn theo ΔL_{tt}.

Công suất âm cần thiết phát ra loa W_a:

$$W_a = \frac{W'_a}{1 - \overline{\alpha}} \quad (\mu\text{Watt})$$

Trong đó: $\overline{\alpha}$ - hệ số hút âm trung bình tìm được từ $T^{tư}$ và **T** của Ering

W'_a: Công suất tiêu thụ để tạo trường âm khuếch tán với mức L_{kt}, có



R_{tb} của 1 và 1' bằng 4
R_{tb} của 2 và 2' bằng 3
R_{tb} của 3 và 3' bằng 2

Hình 7 – 16. Toán đồ xác định tỷ số âm học R

thể xác định qua công thức:

$$L_{kt} = 10.\lg\frac{W'_a}{A} + 96 \quad (dB)$$

do đó:

$$W'_a = A.10^{\frac{L_{kt}-96}{10}} \quad (\mu Watt)$$

Những công thức trên đây chỉ đúng với phòng phân bố lượng hút âm đồng đều, loa không định hướng. Khi đó giá trị của **A** bằng tổng **A** trang âm. Nếu lượng hút âm phân bố không đều và dùng loa định hướng, tính công suất âm khuếch tán từ các bề mặt hút âm và lượng hút âm **A** bằng lượng hút âm của bề mặt phát âm (bề mặt vùng chỗ ngồi của khán giả), khi đó bài toán trở nên phức tạp.

Thực tế thường sử dụng những công thức trên đây, sau đó tổ chức đánh giá ảnh hưởng thực tế và đề ra giải pháp bổ sung cho hệ thống đã chọn.

3. Lựa chọn hệ thống điện thanh theo kinh nghiệm

3.1. Chọn micrô

- Sử dụng micrô định hướng.
- Bố trí mcrô thẳng hàng ngang để hình thành tính định hướng tổng hợp.
- Đặt tấm hút âm trên phương định hướng mạnh nhất của micrô để giảm bớt năng lượng âm tới micrô.

3.2. Chọn loa

a) Trong những phòng hút âm tốt, khi khoảng cách từ thính giả tới nguồn âm tương đối lớn, mức âm không đủ to, có thể sử dụng một loa độc lập khuếch đại âm (hộp loa hoặc cột loa).

Đặc tính bức xạ âm và công suất điện yêu cầu của hộp loa hoặc cột loa tham khảo (hình 7 - 17).

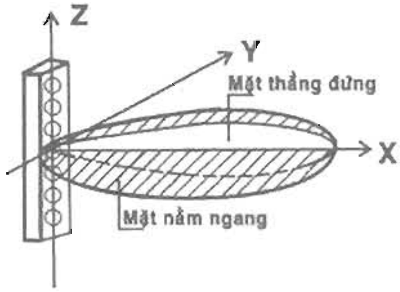
b) Trong những phòng phản xạ mạnh, không thể sử dụng một hộp loa hoặc cột loa độc lập.

- Nếu không có điều kiện kiến trúc để bố trí hệ thống phân tán, có thể sử dụng cột loa định hướng mạnh, trực tiếp đưa âm phủ toàn bộ khu vực ngồi của khán giả.
- Giải pháp bố trí hệ thống loa tập trung xem mục V, VI (hình 7 - 6 ; 7 - 7 ; 7 - 8).

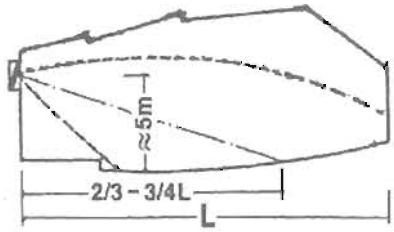
Công suất điện của loa tham khảo hình 7 - 18.

c) Những phòng loại nhỏ và vừa, có thể sử dụng cột loa

Giảng đường, hội trường lớn nên sử dụng hệ thống phân tán.



Tính định hướng của cột loa

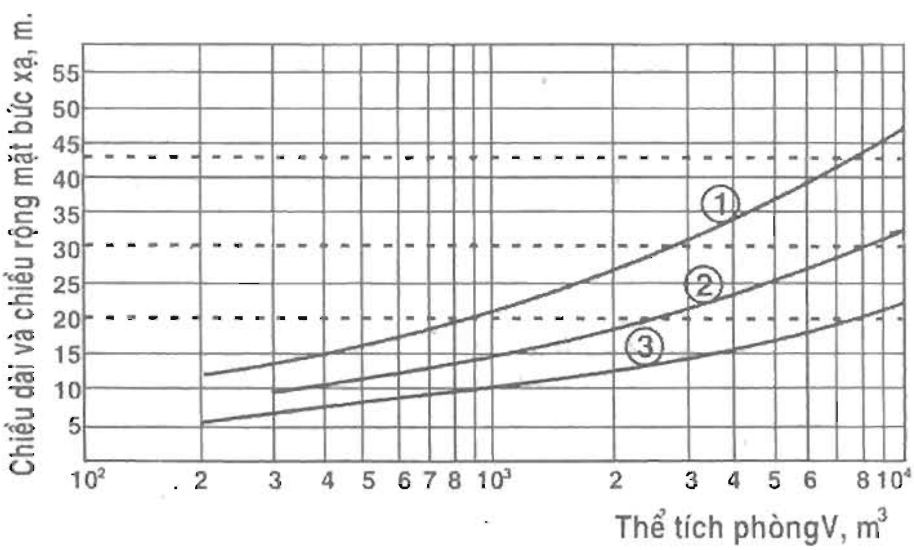


Bố trí loa độc lập

Chiều cao cột loa	1.5m 1 x 6*	3m 1 x 12*	6m 1 x 24*
Chùm bức xạ trung tần			
Chỉ số định hướng Q	2.4	3.5	4.9

** Số loa ghép trong cột*

Chùm bức xạ của cột loa trên hướng nằm ngang



① Chiều dài mặt bức xạ của cột loa 3 mét

② Chiều rộng mặt bức xạ của cột loa 3 mét, và Chiều dài mặt bức xạ của cột loa 1,5 mét

③ Chiều rộng mặt bức xạ của cột loa 1,5 mét

Hình 7 - 17. Đặc tính mặt bức xạ của cột loa

Thí dụ 1: Hội trường sức chứa 900 người, hiệu suất của cột loa η = 2%, xác định công suất điện của loa.

Giải:

Từ biểu đồ hình 7 - 18a, tìm được công suất điện của loa bằng 1,7 Watt.

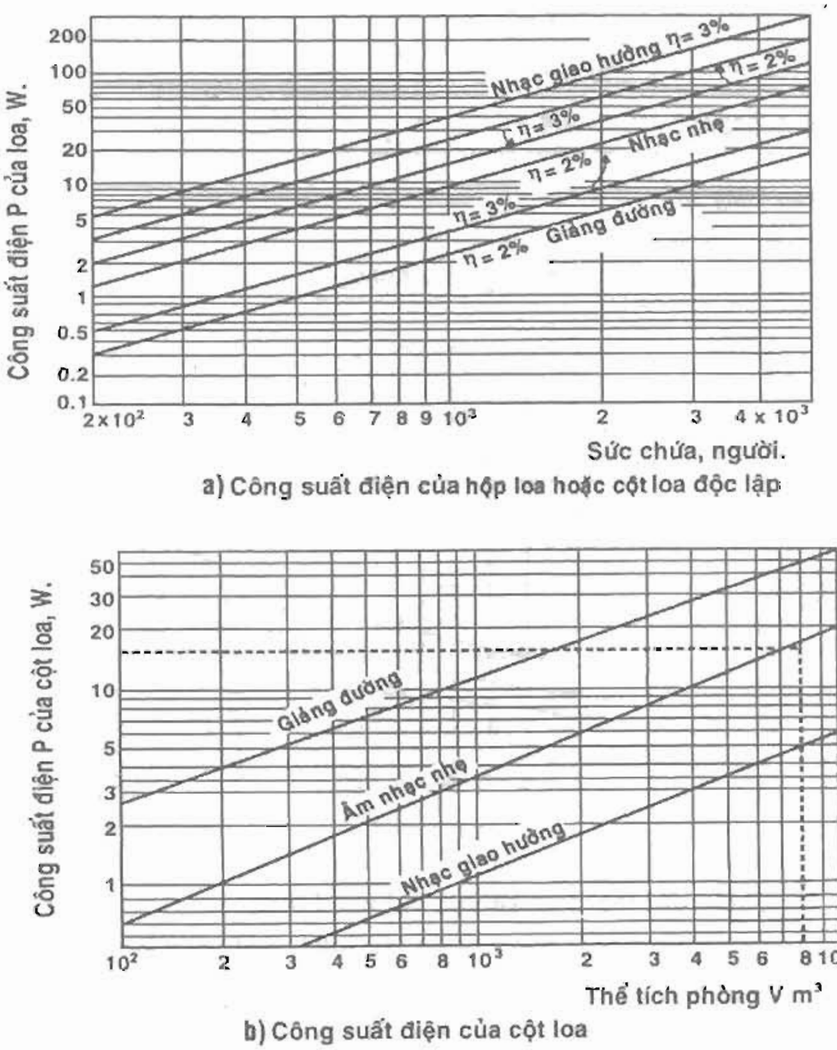
Nếu hiệu suất của loa khác 2%, có thể tính chuyển;

Chẳng hạn, η = 1%, công suất điện P của loa bằng:

$$P = 1,7\ (2/1) = 3,4 \quad \text{(Watt)}$$

Nếu η = 0,5:

$$P = 1,7\ (2/0,5) = 6,8 \quad \text{(Watt)}$$



Hình 7 - 18. Xác định công suất điện của loa

Thí dụ 2:

Phòng hòa nhạc, cao (H) x rộng (B) x dài (L) = 10 x 20 x 40 m^3. Tính công suất điện **P** và chiều cao cột loa.

Giải:

Thể tích phòng: **V** = 10 x 20 x 40 = 8000m^3.

Từ biểu đồ hình 7 - 18b, tìm được công suất điện của loa bằng 17 Watt.

Từ biểu đồ hình 7 - 17, tìm giao điểm giữa thể tích phòng với 3 đường cong, xác định được 3 giá trị 20m, 30m, và 43m:

Cột loa cao: 1,5m, mặt bức xạ diện tích 20 x 30 m^2.

Cột loa cao: 3m, mặt bức xạ diện tích 20 x 43 m^2.

Nếu sử dụng cột loa cao 1,5m, chiều dài chùm bức xạ còn thiếu 43 – 30 = 10 mét. Do đó chọn cột loa cao 3 mét.

3.3. Tính công suất yêu cầu của loa

Công suất cần thiết để duy trì mức to của âm trên vùng chỗ ngồi, thực tế rất nhỏ.

Thí dụ, phòng khán giả 4000 chỗ ngồi, thể tích phòng **V** = 28.300m^3, muốn duy trì mức âm trung bình 78dB trên toàn vùng chỗ ngồi, công suất âm cần thiết 0,03 Watt, nếu kể tới hiệu suất tức thời cho phép tăng công suất gấp 10 lần, mặt khác, đối với loa điện động, hiệu suất chuyển đổi công suất điện thành công suất âm không vượt quá η = 5%, cho nên, kể thêm hiệu suất chuyển đổi η tăng gấp 20 lần, như vậy lượng tăng tổng cộng 200 lần, công suất của loa trong thí dụ trên bằng 0,03 x 200 = 6 Watt, cũng rất nhỏ.

Trên thị trường, loa phóng đại nhỏ nhất, công suất thường thấy là 10 Watt.

Do đó không cần thiết tính toán quá chi tiết dung lượng công suất của loa.

Khi phóng đại âm nhạc, công suất cần thiết của loa cao hơn.

Có thể dự kiến công suất loa theo biểu thức kinh nghiệm sau, với phòng thể tích **V** = 1500 – 15.000 m^3, phông ồn nhỏ:

$$P = \frac{V}{280.000} \quad \text{(Watt)}$$

Chương 8

NGUỒN ỒN - TÁC HẠI CỦA TIẾNG ỒN

Tiếng ồn là những tiếng không cần nghe, gây tổn hại chất lượng và tiện nghi sống, làm việc, nghỉ ngơi, nghe nhìn, ảnh hưởng xấu tới sức khỏe con người.

Theo ý nghĩa vật lý, tiếng ồn là tổ hợp một cách hỗn tạp những âm phức hợp. Sóng của nó là một đường cong không có qui luật, không có chu kỳ (hình 8 - 1).

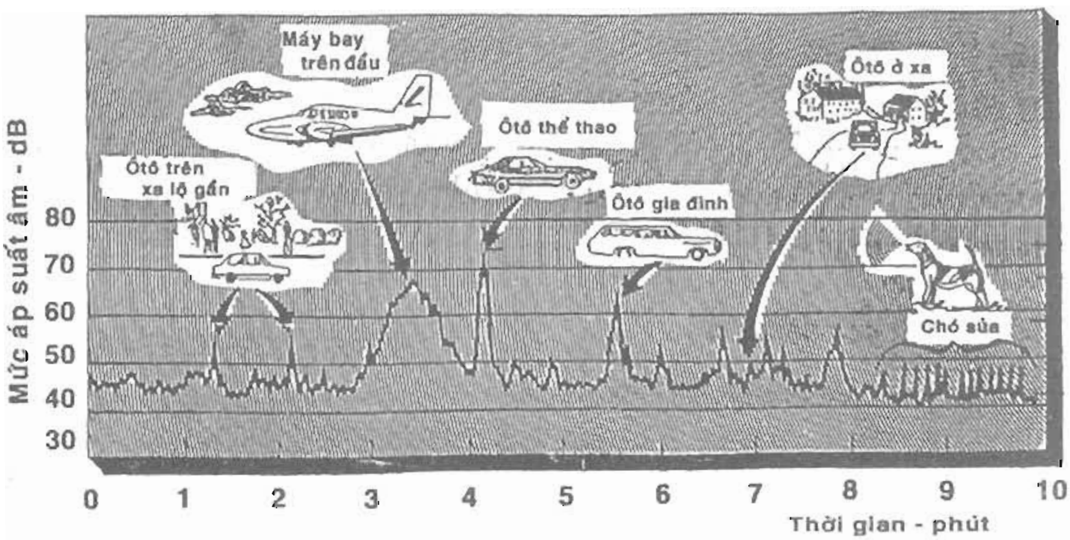
I. NGUỒN ỒN – TÍNH CHẤT CỦA TIẾNG ỒN

1. Mức ồn và cảm giác chủ quan

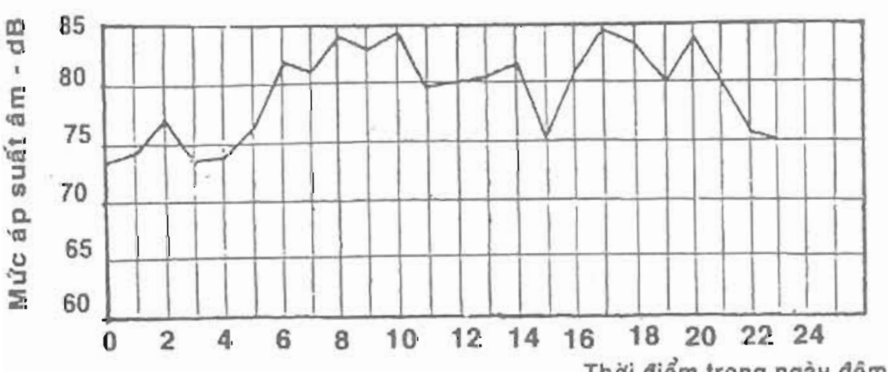
Mức ồn (dB)	Cảm giác chủ quan	Hoàn cảnh thực tế và yêu cầu
0		Ngưỡng nghe. Áp suất âm $P_0 = 2.10^{-5}$ N/m^2 = 0,0002 μbar
5	Không nghe thấy	
15	Khó nghe thấy	Tiếng gõ của đồng hồ, hơi thở ổn định
20	Yên tĩnh tuyệt đối	Phòng ghi âm, phòng phát thanh
25	Hoàn toàn yên lặng	Phòng âm nhạc, phòng bệnh nhân trong bệnh viện ban đêm.
30	Rất yên lặng	Mức ồn thực tế trong các phòng bệnh nhân ban đêm
35	Khá yên lặng	Mức ồn lớn nhất cho phép ban đêm
40	Yên lặng	Phòng học, khu ở đặc biệt
45	Yên lặng	Phòng ở trong khu ở, giới hạn tập trung tinh thần (Tiếng ồn xé giấy)
50	Gây nhiễu nhẹ	Mức cao nhất bảo vệ giấc ngủ
60	Gây nhiễu	Nói chuyện bình thường, mức ồn lớn nhất còn nghe được.
70	Tiếng ồn tương đối lớn	Tiếng gõ đánh máy chữ. Tiếng nói chuyện trong hội trường
80	Tiếng ồn lớn	Tiếng ồn tháo nước, máy phát âm nhạc mở lớn.
90	Tiếng ồn rất to	Tiếng ồn xưởng in. Mức ồn cho phép trong nhà máy.
100	Tiếng ồn quá lớn	Tiếng ồn máy cắt, âm lớn nhất của đội nhạc diễn tấu
110	Khó chịu đựng được	Xưởng dệt thoi, máy gia công gỗ.
120	Khó chịu đựng được	Tiếng máy bay phản lực cách khoảng 100mét.
125	Khó chịu đựng được	Tiếng máy bay cánh quạt.
130	Cảm giác đau	Tiếng ồn cách còi báo động 1mét.
140	Tổn thương thần kinh không thể hồi phục	Tiếng ồn của động cơ phản lực trong phòng thí nghiệm

Mức to của tiếng ồn và mức độ yên tĩnh – Phản ứng chủ quan

	Cảm giác chủ quan (Fôn)		
	Yên lặng	Tương đối yên lặng	Ồn ào
Văn phòng quản lý hành chính	46	50	56
Lớp học	46	53	60
Nhà ở, phòng ngủ, lữ quán	46	56	64
Hội trường, phòng hòa nhạc, kịch viện	37	40	46
Phòng họp	50	56	60
Xưởng sản xuất	75	83	93



Tiếng ồn đo ngoài cửa đi bên đường vùng ngoại ô yên tĩnh.



Mức ồn đường phố

Hình 8 - 1. Mức ồn ngoài nhà

Trong môi trường tiếng ồn trên 80dB con người luôn cảm thấy khó chịu, mệt mỏi, cao hơn sẽ thương tổn tới thính giác không hồi phục được, mất khả năng tập trung tinh lực trong hoạt động nghiên cứu, tăng nhịp tim, tăng huyết áp ...

Do công nghiệp và giao thông ngày càng phát triển, trình độ cơ giới hóa trong đời sống ngày càng cao, do nhân khẩu tập trung ngày càng đông, mức ồn ngày càng tăng, gây ảnh hưởng tới chất lượng sống của con người ngày càng trầm trọng.

Phản ứng của con người đối với tiếng ồn phụ thuộc vào tính chất vật lý của tiếng ồn, đồng thời do cảm giác tâm lý của con người, thời gian, hoàn cảnh tác động ... Cùng một âm nhưng ở thời gian khác nhau, hoàn cảnh khác nhau, địa điểm khác nhau sẽ gây những ảnh hưởng khác nhau, do đó việc nghiên cứu tiếng ồn kéo theo sự nghiên cứu các tính chất vật lý của tiếng ồn: cường độ, tần phổ, thời gian tác dụng, chu kỳ và hoàn cảnh xuất hiện.

Tiếng ồn thấp trong phòng khán giả gây nhiễu nghe âm, tiếng ồn trung bình trong văn phòng làm cho nhân viên chóng mỏi mệt, tiếng ồn ào trong các nhà sản xuất, gây cho công nhân chóng mỏi mệt, ảnh hưởng xấu tới năng suất lao động, tác dụng vào hệ thống trung ương thần kinh, làm giảm sự chú ý của công nhân, tăng khả năng chấn thương trong lao động, làm tổn thương thính giác ...

2. Tính chất của tiếng ồn

a) Thành phần tần số của tiếng ồn

Thành phần tần số của tiếng ồn quy định tính chất của tiếng ồn.

Sự phụ thuộc vào tần số gọi là đặc tính tần số của tiếng ồn.

Theo thành phần tần số, có thể phân tiếng ồn thành những loại sau đây:

- Tiếng ồn thấp, tần số đến 300Hz.
- Tiếng ồn trung bình, tần số từ 300 ~ 800Hz.
- Tiếng ồn cao, tần số lớn hơn 800Hz.

Tiếng ồn phức tạp là tổ hợp nhiều âm đơn tần số khác nhau, có thể phân tích thành một âm cơ bản và những âm đơn (họa âm) những đơn âm này bao phủ quanh âm cơ bản, tần số cao hơn âm cơ bản.

Một tiếng ồn nghe rất cao, tức là trong thành phần tần số của nó, âm tần số cao chiếm phần chủ yếu và quyết định áp suất âm của tiếng ồn đó. Vì vậy, quan hệ giữa áp suất và thành phần tần số của tiếng ồn có thể biểu thị bằng tần phổ của nó. Do đó nghiên cứu tần phổ của tiếng ồn có thể biết được cấu tạo tần số, áp suất của các tần số chứa trong tiếng ồn đó.

Tính chất của tiếng ồn khác nhau cách xử lý cũng khác nhau.

Theo tính chất, có mấy loại tiếng ồn:

- Tiếng ồn tác dụng lâu, dải tần số hẹp, không đổi (tiếng rú của động cơ điện).

- Tiếng ồn tác dụng lâu, dải tần số rộng, ít thay đổi phổ (tiếng ồn ngoài phố tạo nên do tổng hợp nhiều loại tiếng ồn cơ bản khác nhau, gọi là phông ồn).

- Tiếng ồn gián đoạn, tần phổ hẹp, mức cao, thời gian tác dụng ngắn.

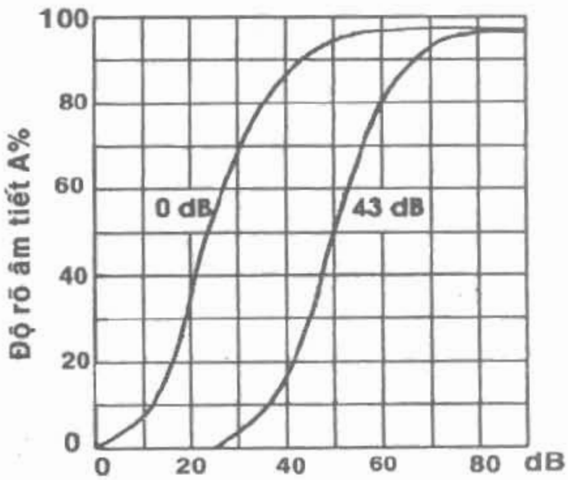
Trong chương I đã nói, áp suất âm, mức áp suất âm của tiếng ồn đo bằng áp suất kế và mức áp suất kế. Bằng những máy đo này đo được áp suất có ích (N/m^2), mức áp suất (dB). Mức âm cảm giác của tiếng ồn, đo bằng mức áp suất kế có mạch điện hưởng ứng tần số, phản ánh cảm thụ chủ quan của tai người đối với độ to của tiếng ồn, tính bằng (dB - A).

Đo mức của tiếng ồn với mục đích để so sánh với tiêu chuẩn vệ sinh cho phép. Tính chất của tiếng ồn khác nhau, biện pháp xử lý cũng khác nhau. Để xác định tính chất tiếng ồn, tiến hành đo mức áp suất âm (dB), mức âm (dB - A) của dải tần số từ 37,5 – 9600Hz, gồm 8 ốcta.

b) Tác dụng che lấp của tiếng ồn

Trong phòng khán giả, do sự nhiễu loạn của tiếng ồn nên nghe không rõ, phải chú ý mới nghe được hoặc phải tăng công suất của nguồn mới nghe rõ. Như vậy phải nâng cao ngưỡng nghe, hiện tượng đó gọi là sự che lấp của tiếng ồn (hình 8 - 2).

Mức độ che lấp của tiếng ồn phụ thuộc vào áp suất và thành phần tần số của tiếng ồn. Âm tần số thấp mạnh (mức áp suất âm trên 80dB) tác dụng che lấp lớn nhất, ngược lại, âm cao tần che lấp rất yếu đối với âm thấp tần. Trong đội nhạc, âm tần số cao của "Violon" rất dễ bị âm tần số thấp của nhạc ống che lấp, ngược lại trong những âm tần số cao rất mạnh dễ dàng nghe thấy âm tần số thấp.



Mức áp suất âm trên ngưỡng nghe trong 2 phông ồn: 0dB và 43dB phông ồn thường gặp trong các phòng

Hình 8 - 2. Độ rõ âm tiết A%

Khi tiếng ồn và tiếng cần nghe tần số xấp xỉ bằng nhau, tác dụng che lấp của tiếng ồn rất mạnh.

Khi mức áp suất âm của tiếng ồn vượt quá mức áp suất âm cần nghe 10 – 15dB, phải tập trung chú ý cao độ mới nghe được, khi vượt quá 20 – 25dB sẽ hoàn toàn không nghe thấy âm cần nghe. Ảnh hưởng này khác nhau đối với âm tần số khác nhau.

Độ rõ của tiếng nói phụ thuộc chủ yếu vào những âm tần số từ 800 – 2500Hz, nếu tiếng ồn cũng có tần số trong phạm vi này, tác dụng che lấp lớn nhất.

• **Xác định trị số che lấp (M) của tiếng ồn**

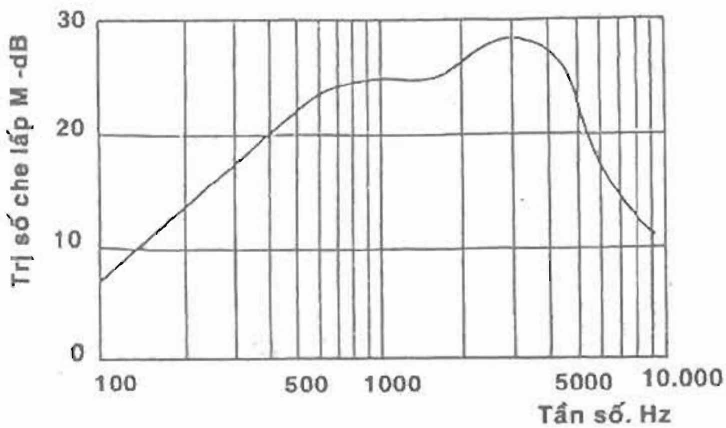
Trong phòng khán giả, do tự thân, do thiết kế chống ồn chưa đủ, tạo nên phông ồn che lấp âm cần nghe, khi đó muốn nghe được phải tăng độ to của âm cần nghe vượt trên mức che lấp của phông ồn (trị số che lấp **M** biểu thị mức che lấp của tiếng ồn).

- Tần phổ che lấp của tiếng ồn

Tập hợp tần số của tiếng ồn gọi là tần phổ của tiếng ồn. Trị số che lấp **M** phụ thuộc tần phổ của tiếng ồn, cho nên gọi là tần phổ che lấp.

Hình 8 - 3 ghi nhận tần phổ che lấp trong phòng có phông ồn 43dB (mức ồn thường gặp trong các phòng).

Thí dụ: tần số che lấp 1000Hz trị số che lấp 25dB. Có nghĩa là: cần nâng mức âm cần nghe trên ngưỡng nghe 25dB mới nghe được.



Hình 8 - 3. Tần phổ che lấp trong phòng phông ồn 43dB

Tần số che lấp khác nhau, trị số che lấp **M** có giá trị khác nhau, như vậy có hai trường hợp:

- Trị số che lấp của âm đơn
- Trị số che lấp của phổ tiếng ồn liên tục.

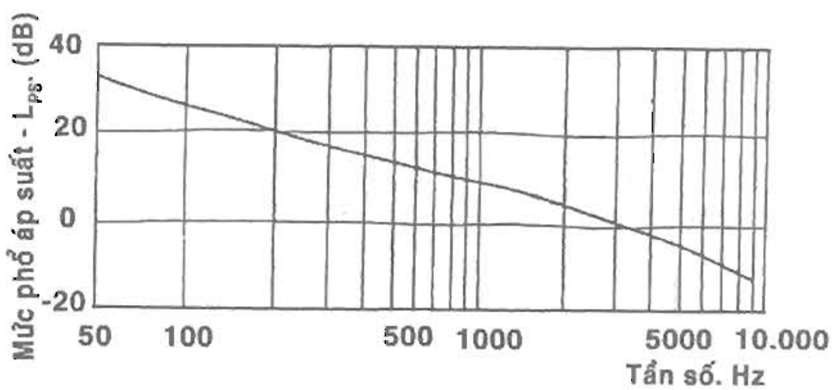
Trị số che lấp **M**, thực chất là lượng dB phải nâng cao trên ngưỡng nghe để nghe được.

Thực nghiệm cho thấy, âm trầm che lấp cực mạnh đối với âm cao, ngược lại âm cao che lấp không đáng kể đối với âm trầm.

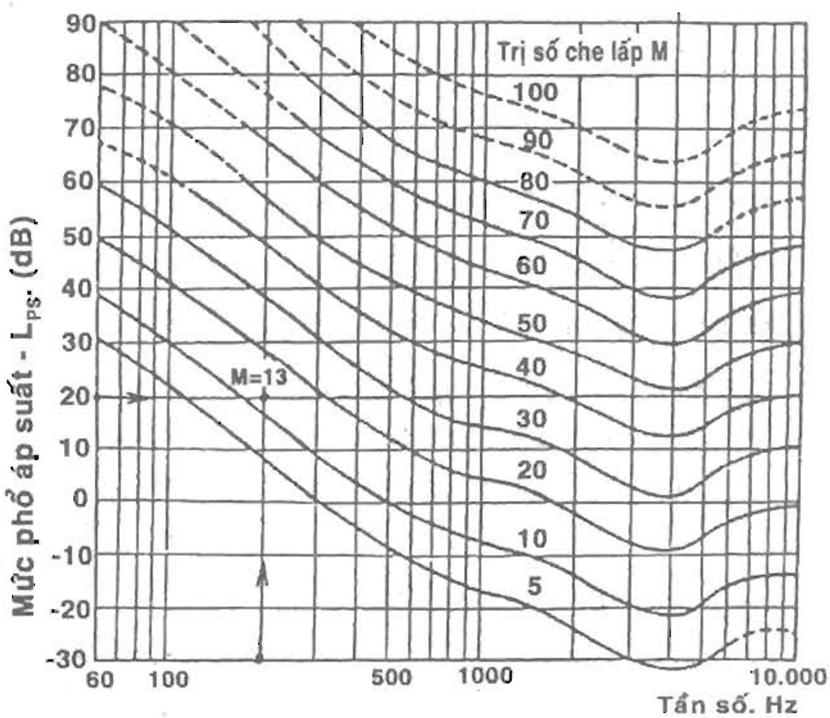
Tác dụng che lấp lớn nhất khi tần số của âm che lấp xấp xỉ tần số của âm bị che lấp.

- ***Áp suất tần phổ (P_ω)***

Hiệu quả che lấp không những phụ thuộc tổng áp suất âm, mà còn phụ thuộc vào sự phân bố tần số trong tần phổ của phông ồn.



Hình 8 - 4. Phổ ồn thường gặp trong các phòng



Hình 8 - 5. Trị số che lấp M với tần số và L_{PS}

Sự phân bố tần số của tiếng ồn xác định bằng máy phân tích âm. Đo áp suất âm các tần số trung bình của mỗi ốcta trong phổ ồn. Vì rằng chiều rộng quãng tần số của các máy đo không giống nhau, đồng thời để dễ so sánh kết quả phân tích, người ta đưa vào

đại lượng "Áp suất tần phổ P_ω" và "Mức phổ áp suất L_{PS}".Áp suất tần phổ P_ω là áp suất trong chiều rộng ω của dải tần số.

Mức phổ áp suất:

$$L_{PS} = 20.\lg \frac{\left(\frac{P_\omega}{P_0}\right)^2}{\omega} \quad (dB)$$

Trong đó: $P_0 = 0,0002$ **μbar** – áp suất âm ở ngưỡng nghe của âm chuẩn

Như vậy:

$$L_{PS} = 20.\lg \frac{P_\omega}{4.10^{-5}\omega} \quad (dB)$$

Là mức áp suất âm của dải tần số trong chiều rộng ω

Hình 8 - 4 mô tả quan hệ giữa tần số và mức phổ áp suất L_{PS}.

Phương pháp xác định trị số **M**:

- Xác định P_ω
- Xác định L_{PS} của các tần số trung bình của các ốcta, lập phổ của nền ồn (hình 8 - 4).
- Xác định trị số **M** từ biểu đồ hình 8 - 5.

c) Sự chồng chất của tiếng ồn

Khi có nhiều nguồn ồn đồng thời tác dụng, tổng cường độ ồn bằng tổng đại số cường độ của các nguồn ồn, áp suất bằng căn bậc hai tổng các bình phương áp suất của các nguồn.

Chẳng hạn có **n** nguồn ồn, cường độ của các nguồn: $I_1, I_2, I_3, ..., I_n$ và áp suất $P_1, P_2, P_3, ..., P_n$.

Cường độ tổng hợp **I** bằng:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n \quad (Watt/cm^3) \text{ hoặc } (W/m^2)$$

Và tổng áp suất:

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + ... + P_n^2} \quad (N/m^2) \text{ hoặc } (\mu bar)$$

Tương ứng, mức cường độ ồn tổng hợp L_1 và mức áp suất ồn tổng hợp L_P bằng:

$$L_I = 10.\lg\frac{I}{I_0} = 10.\lg\frac{I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n}{I_n} \quad (dB)$$

$$L_P = 20.\lg\frac{P}{P_0} = 20.\lg\frac{\sqrt{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + ... + P_n^2}}{P_0} \quad (dB)$$

Nếu **n** nguồn ồn có cùng cường độ và cùng áp suất:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = ... = I_n$$

$$P = P_1 = P_2 = P_3 = ... + P_n$$

$$L_I = 10.\lg\frac{I_1}{I_0} + 10.\lg n = L_{I1} + 10.\lg n \quad (dB)$$

$$L_P = L_{P1} + 20.\lg\sqrt{n} = L_{P1} + 10.\lg n \quad (dB)$$

Nếu có hai nguồn ồn giống nhau cùng tác dụng, mức cường độ và mức áp suất tổng hợp của hai nguồn bằng mức của một nguồn trong đó cộng thêm 3dB.

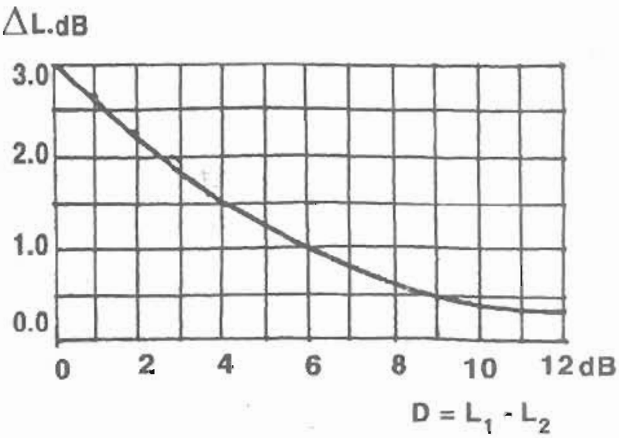
Khi có nhiều nguồn ồn cùng tác dụng, có thể bằng phương pháp cộng dần từng cặp sẽ có mức ồn tổng hợp.

Thí dụ:

Có hai nguồn ồn L_1 và L_2 trong đó $L_1 > L_2$ mức cường độ ồn tổng hợp L sẽ bằng:

$$L = L_1 + \Delta L \quad (dB)$$

Trong đó ΔL là mức ồn tăng thêm phụ thuộc vào giá trị $D = L_1 - L_2$, có thể tìm từ toán đồ hình 8 - 6.



Hình 8 - 6. Tổng hợp nhiều nguồn âm

Thí dụ:

- Có hai nguồn ồn: $L_1 = 90dB$, $L_2 = 85dB$, $D = L_1 - L_2 = 90 - 85 = 5dB$

Tra toán đồ hình 8 - 6: $\Delta L = 1,2dB$, $L = L_1 + \Delta L = 90 + 1,2 \approx 91dB$

- Có ba nguồn ồn: $L_1 = 90dB$, $L_2 = 85dB$, $L_3 = 88dB$

• Tổng hợp L_1 và L_3: $D = L_1 - L_3 = 90 - 88 = 2dB$,

Tra toán đồ hình 8 - 6: $\Delta L_{1-3} = 2,2dB$

Vậy: $L_{1-3} = L_1 + \Delta L_{1-3} = 90 + 2,2 \approx 92dB$

• Tổng hợp L_{1-3} và L_2: $D = L_{1-3} - L_2 = 92 - 85 = 7$ (dB)

Tra toán đồ hình 8 - 6: $\Delta L_{1-3-2} = 0{,}7$dB

Vậy: $L = L_{1-3} + \Delta L_{1-3-2} = 92 + 0{,}7 \approx 93$ (dB)

Khi hai nguồn ồn, mức cường độ chênh lệch nhau lớn hơn 9dB, lượng tăng thêm $\Delta L < 1$, có thể bỏ qua, khi đó mức cường độ ồn tổng hợp bằng mức cường độ ồn của nguồn lớn nhất trong đó, bỏ qua nguồn ồn bé hơn. Nếu nguồn ồn bé hơn có tính chất khác biệt tương đối rõ so với nguồn ồn lớn mới phải lưu ý.

Như vậy khi tồn tại nhiều nguồn ồn phải tìm cách khử nguồn ồn nào có mức lớn nhất trong đó.

Thí dụ 1:

Xác định quy mô của đội hợp xướng cho phép trên sân khấu ?

Cho biết: mức áp suất âm của mỗi diễn viên khi hát 70dB. Mức âm cho phép trên sân khấu 90dB.

Giải:

Áp dụng công thức mức âm tổng hợp của nhiều nguồn âm:

$$L = L_1 + 10.\lg n \leq [90] \quad \text{(dB)}$$

Như vậy: $10.\lg n \leq [90]\ \text{dB} - L_1 = 90 - 70 = 20$ (dB)

$$\lg n = 2 \rightarrow n = 10^2 = 100 \text{ (diễn viên)}$$

Thí dụ 2:

Xác định số máy dệt thoi cho phép lắp đặt trong nhà xưởng ?

Cho biết: mức âm của mỗi máy dệt là 65dB. Mức ồn cho phép trong nhà xưởng 85dB.

Giải:

Cách giải tương tự như thí dụ 1 → $\lg n = 2 \rightarrow n = 10^2 = 100$ (máy)

d) Quan hệ giữa độ to, mức áp suất âm của tiếng ồn phức tạp

Tiếng ồn phức tạp dải tần số rộng, có thể xác định độ to theo phương pháp kiến nghị của S.S. Stevens. Phương pháp đó như sau.

- Đo mức áp suất âm các quãng tần số trong dải tần số của tiếng ồn đó.

- Từ toán đồ quan hệ mức áp suất âm (dB) với độ to (Sôn) xác định độ to tương ứng của các quãng tần số (hình 8 - 7).

Sử dụng công thức sau tính độ to tổng hợp của tiếng ồn:

$$S_t = S_{max} + K(\Sigma S_i - S_{max}) \quad \text{(Sôn)}$$

Trong đó:

S_t - độ to tổng hợp của tiếng ồn (Sôn)

S_{max} - độ to lớn nhất trong những độ to của các quãng tần số đã xác định (Sôn).

ΣS_i - tổng đại số những độ to của các quãng tần số.

$$\Sigma S_i = S_1 + S_2 + S_3 + ... + S_n$$

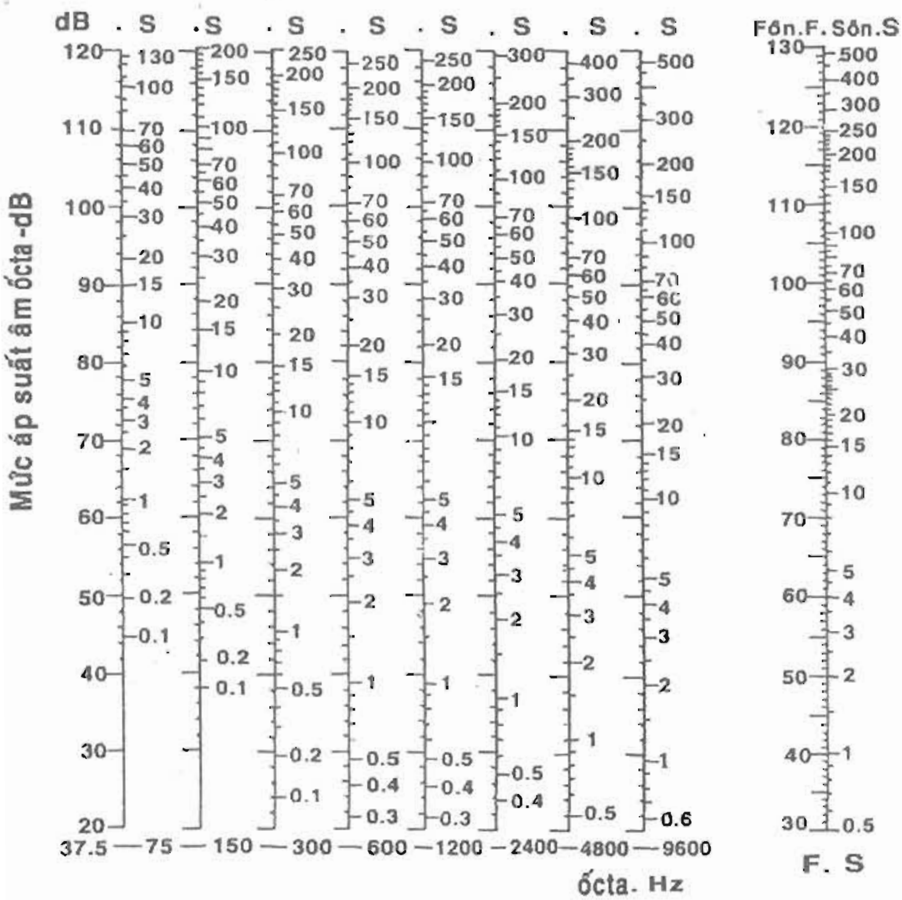
K - hệ số hiệu chỉnh, lấy như sau:

Quãng độ cao từ 37,5 – 75Hz, **K** = 1

Những quãng độ cao khác lấy **K** = 0,3

Khi đo, nếu đo 1/2 ốcta: **K** = 0,2. Nếu đo 1/3 ốcta: **K** = 0,15.

Bên trái các tung độ : Mức áp suất âm ốcta, bên phải ghi độ to (S)



Hình 8 - 7. Toán đồ quan hệ giữa mức áp âm (dB). Độ to (S) và mức to (F)

Cuối cùng từ biểu thức quan hệ giữa độ to (**S**) và mức to (**F**) để xác định mức to (Fôn) bằng công thức:

$$S = 2^{0,1(F-40)}$$

Hoặc từ toán đồ hình 8 - 7.

Thí dụ:

Xác định độ to tổng hợp của tiếng ồn tần số từ 37,5 – 9600Hz.

$$S_t = S_{max} + K\,(\Sigma S_i - S_{max})$$

$$S_t = 24 + 1S_1 + 0,3(S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8) - 1.S_{max}$$

$$S_t = 24 + 18,66 = 42,66 \quad \text{(Sôn)}$$

Lưu ý: $S_1 = S_{max}$. **K** của S_1 bằng 1

Đổi ra mức to:

$$S = 2^{0,1(F-40)} = 42,66$$

Hoặc tra toán đồ hình 8 - 7.

Kết quả: **F** = 94 Fôn

Kết quả đo đạc và tính toán ghi trong bảng sau:

STT	Ốcta (Hz)	Mức áp suất âm đo được theo ốcta	Độ to tương ứng (tra biểu đồ hình 8 - 7)	Hệ số hiệu chỉnh **K**	Độ to sau khi hiệu chỉnh (nhân hệ số **K**) (Sôn)
1	37,5 – 75	96	24 (S_{max})	1	24
2	75 – 150	87	18	0,3	5,4
3	150 – 300	82	18	0,3	5,4
4	300 – 600	75	12	0,3	3,6
5	600 – 1200	65	6	0,3	1,8
6	1200 – 2400	55	3,5	0,3	1,05
7	2400 – 4800	45	2,5	0,3	0,75
8	4800 – 9600	40	2,2	0,3	0,66

II. TIÊU CHUẨN MỨC ỒN CHO PHÉP

1. Nguồn ồn và mức ồn tính toán

Mức ồn tính toán là mức ồn ngoài nhà hoặc ở phòng lân cận có xu hướng xâm nhập vào phòng, người thiết kế có nhiệm vụ ngăn cách.

Khi thiết kế ngăn cách tiếng ồn cần xác định vị trí của nguồn ồn, đo đạc, điều tra hoặc lựa chọn số liệu thống kê để xác định mức ồn tính toán.

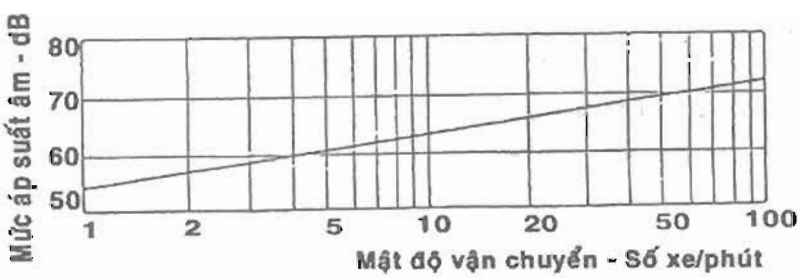
Nguồn ồn ngoài nhà chủ yếu do các phương tiện vận tải, do đông người qua lại, do các xưởng sản xuất công nghiệp lan truyền tới ...

Có thể tham khảo những số liệu quan trắc (hình 8 - 8).

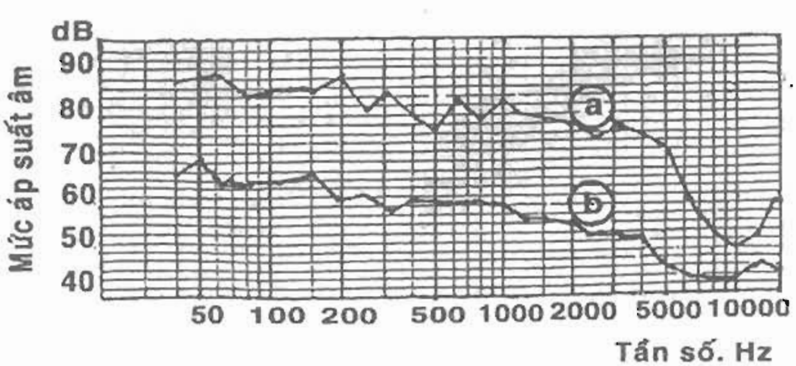
2. Mức ồn cho phép

Mức ồn cho phép là mức ồn đã được cải thiện đến mức con người có thể chịu đựng được dễ dàng, là mức ồn không ảnh hưởng tới chất lượng và mục đích sử dụng của phòng.

Tiếng ồn có hại đối với sức khỏe con người khi mức của nó vượt quá mức cho phép.

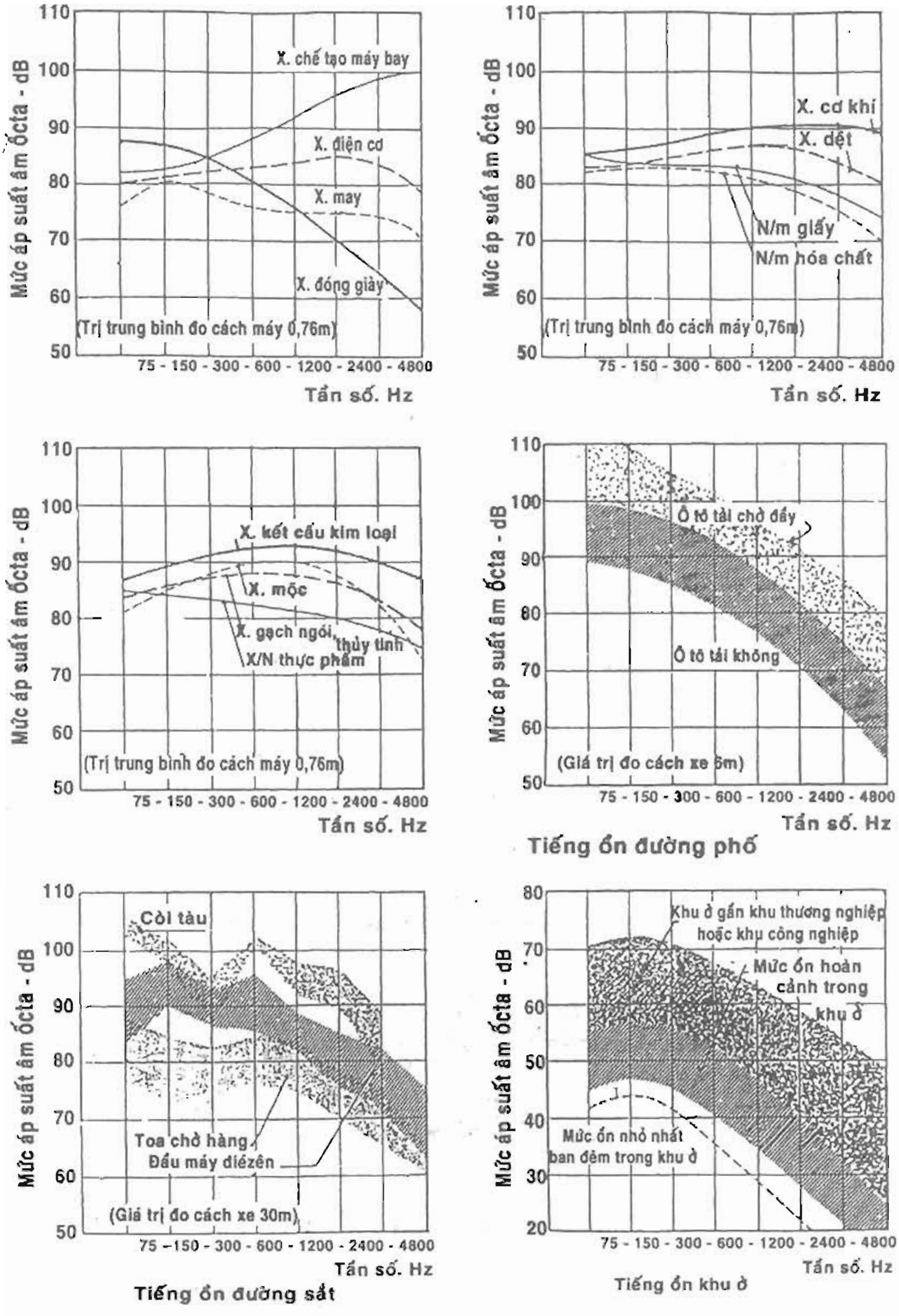


Mật độ vận chuyển và mức ồn ngoài nhà



Mức áp suất âm với tần số tiếng ồn giao thông
a. Giá trị lớn nhất - b. Giá trị trung bình

Hình 8 - 8. Mức ồn giao thông



Hình 8 - 9. Mức ồn của một số nguồn ồn thường gặp

Mức ồn cho phép xác định trên cơ sở những kết quả đo đạc và điều tra thực tế nhiều lần trong các phòng khác nhau, mức ồn cho phép phụ thuộc vào phông ồn. Trong phòng khán giả do những cử động tối thiểu của khán giả tạo nên phông ồn khoảng 40 – 45dB, trên đường phố trung bình phông ồn khoảng 60 – 70dB.

Mức ồn cho phép xác định trên hai căn cứ:

- Căn cứ yêu cầu vệ sinh, đảm bảo cho con người có đủ điều kiện yên tĩnh tốt nhất để làm việc, nghỉ ngơi. Về yêu cầu này đòi hỏi mức ồn bé.

- Căn cứ khả năng kinh tế và kỹ thuật cho phép, vật liệu và kết cấu cách âm có thể có được, nhằm thỏa mãn đến mức tối đa, hợp lý yêu cầu vệ sinh.

Mức ồn tổng hợp trong phòng do ba nguyên nhân: do người, do thiết bị trong phòng và do bên ngoài xâm nhập vào. Tỷ lệ của ba loại ồn này có thể tham khảo số liệu sau đây:

- Trong các phòng sản xuất: 10; 80 và 10%
- Trong các nhà công cộng: 45; 25 và 30%.

3. Tiêu chuẩn đánh giá tiếng ồn

a) Phân loại nguồn ồn và tiếng ồn

- **Theo thời gian tác dụng**: Thường gặp ba loại tiếng ồn:

- **Tiếng ồn liên tục**, sinh ra suốt ngày đêm, mức của nó thay đổi theo thời gian không quá 5dB (tiếng ồn của quạt gió làm việc).

- **Tiếng ồn gián đoạn**, xuất hiện từng lúc, thời gian đứt quãng có thể dài hay ngắn. Khi xuất hiện, tiếng ồn liên tục trong một khoảng thời gian nào đó (tiếng ồn của thang máy).

- **Tiếng ồn thay đổi**, mức của nó thay đổi theo thời gian lớn hơn 5dB (tiếng ồn của phương tiện vận tải).

- **Theo vị trí của nguồn ồn**

- Nguồn ồn ngoài nhà, nguồn ồn trong nhà.

- **Theo nguồn gốc phát sinh và phương thức lan truyền**

- **Tiếng ồn không khí** – không khí lan truyền tiếng ồn.

- **Tiếng ồn va chạm** – vật rắn va chạm phát sinh tiếng ồn.

- **Tiếng ồn rung động** – kết cấu rung động truyền tải tiếng ồn.

b) Đánh giá mức ồn

Để đánh giá mức ồn cần có số liệu đo đạc thực tế.

Theo thông lệ quốc tế, đo mức âm **dB – A (L_A)** ở 8 tần số trung bình của 8 ốcta trong toàn phổ tiếng ồn: 63; 125; 250; 50; 1000; 2000; 4000 và 8000Hz. Hoặc đo theo dải 1/3 ốcta.

• **Phương pháp đo nguồn cố định**: theo quy trình đo quy định trong TCVN 5964 – 1995.

- Đo tiếng ồn một nhóm máy: đo ở vị trí trung bình giữa nhóm máy.

- Đo tiếng ồn của một thiết bị lẻ, kích thước nhỏ, đo cách thiết bị nhỏ hơn 1mét chủ yếu tránh âm phản xạ quá nhiều.

- Đo thiết bị lớn độc lập hoặc một không gian hoạt động, đo cách 7,5m.

• **Hiệu chỉnh kết quả đo theo nền ồn**, khi mức ồn đo đạc lớn hơn nền ồn 10dB:

- Nếu mức ồn đo > nền ồn 6 – 9dB giảm mức đo 1 dB.

- Nếu mức ồn đo > nền ồn 4 – 6dB giảm mức đo 2 dB.

Khi mức ồn đo < nền ồn 4dB và mức ồn dao động quá lớn, không nên đo vì không còn chính xác.

• **Phương pháp đo nguồn ồn di động**: TCVN 5948- 1999 (ISO. 00362 – 1998).

Đo mức ồn của phương tiện vận chuyển (dB – A), đo cách tâm trục vận chuyển 7 mét, ở độ cao 1,2m. Có thể đo bằng máy đo mức áp suất âm (dB), sau đó hiệu chỉnh theo thang A – (dB – A), hoặc đo trực tiếp bằng máy đo mức âm cảm giác (nếu có).

Thông số tiêu chuẩn của tiếng ồn liên tục hoặc gián đoạn xác định bằng mức áp suất âm tính bằng dB, ứng với tần số trung bình 63; 125; 250; 1000; 4000 và 8000Hz của 8 ốcta trong phổ tiếng ồn. Mức áp suất âm này tính bằng công thức:

$$L = 20.\lg\frac{P}{P_0} \quad (dB)$$

Trong đó: P_0 - áp suất âm ở ngưỡng nghe của âm chuẩn.

$$P_0 = 2.10^{-5}\ (N/m^2) = 0{,}0002\ (\mu bar)$$

Để đánh giá gần đúng tiếng ồn liên tục hoặc gián đoạn thường dùng mức âm tính bằng (dB – A), phản ánh mức tổng hợp của tiếng ồn.

Thông số tiêu chuẩn của tiếng ồn thay đổi tính bằng mức âm **dB – A (L_A)**.

Đánh giá tổng hợp mức ồn thay đổi, thường dùng mức âm tương đương ($L_{Atđ}$), tính bằng (dB – A), xác định từ mức âm (L_A) thực tế đo được. Mức âm tương đương tính toán so sánh với mức âm dB – A tiêu chuẩn cho phép.

Mức âm tương đương ($L_{A\,tđ}$), , xác định từ mức âm trung bình của nguồn cố định bức xạ tiếng ồn liên tục, xác định trên cơ sở những mức âm (dB – A) thực đo trong thời gian ồn nhất, mức âm

thực đo này chia thành từng dải cách nhau 5dB và mỗi dải như vậy đại diện bằng một mức âm trung bình (L_{A_i}).

Thí dụ:

Dải từ 58 – 62 dB – A → mức trung bình L_{A_i} = 60 dB – A.

Dải từ 63 – 67 dB – A → mức trung bình L_{A_i} = 65 dB – A v.v ......

Khi đó mức âm tương đương ($L_{Atđ}$) bằng:

$$L_{Atđ} = 10.\lg\left(\frac{1}{100}.\Sigma f_i.10^{0,1L_{Ai}}\right) \quad (dB - A)$$

Trong đó: L_{A_i} - mức âm trung bình của dải thứ i (dB – A)

f_i: thời gian tác dụng của mức ồn dải thứ i, tính bằng % của tổng thời gian tác dụng (100%).

4. Tiêu chuẩn bảo vệ thính giác

Khi mức ồn tới 150dB tức khắc tổn thương thính giác không hồi phục được, gây thủng màng nhĩ tai. Trong kiến trúc ít khi gặp mức ồn này.

Đối với tiếng ồn mức đủ lớn, tác dụng lâu, Rosenblith và cộng sự kiến nghị tiêu chuẩn bảo vệ thính giác mang tính thực nghiệm (hình 8 - 10a).

Tiêu chuẩn này quy định tiếng ồn tác dụng lâu mức lớn nhất, không được vượt quá mức quy định trong biểu đồ, nhằm bảo vệ an toàn cho đa số người.

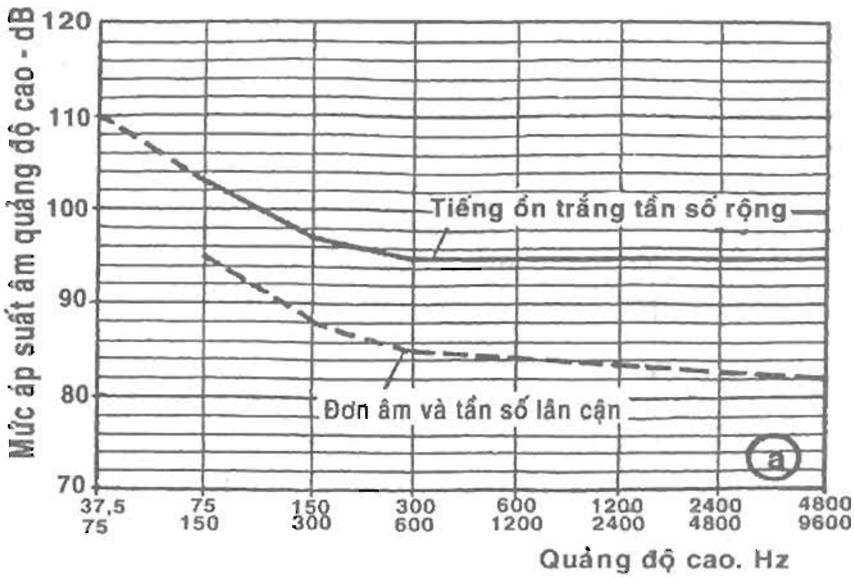
Hình 8 - 10b: tiêu chuẩn mức ồn cho phép lớn nhất ở tai người theo thời gian tác dụng trong ngày làm việc – Beranek.

Nếu mức ồn thấp hơn tiêu chuẩn 10dB sẽ thoát khỏi nguy hiểm. Nếu lớn hơn tiêu chuẩn 10dB, nguy cơ tổn thương thính giác tăng lên rõ rệt.

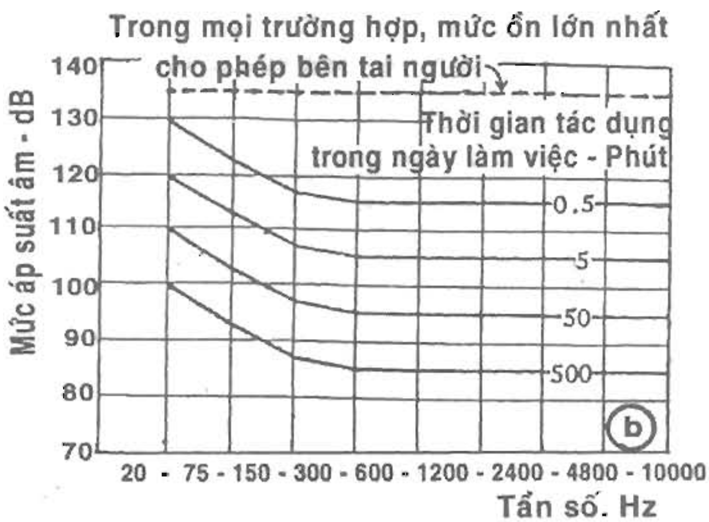
Qua nhiều nghiên cứu khảo sát thấy rằng: với mức ồn thấp hơn quy định cũng gây bệnh điếc, cho nên để bảo hiểm, kiến nghị hạ giá trị tiêu chuẩn 5dB, nếu làm việc trong nền ồn, trường hợp chỉ tiếp xúc trong chốc lát, khoảng một phút, có khả năng chịu đựng mức ồn cao hơn, nhưng không vượt quá 140dB, với mức ồn này, tác dụng đối với thính giác hầu như không có quan hệ với tần số, cho nên mức 140dB là mức tổng hợp bao gồm tất cả các tần số.

Đối với tiếng ồn đột phát, mức cao vọt trên nền ồn chung, chẳng hạn tiếng búa máy ở công trường, trung bình một giây dập một lần. Theo số liệu điều tra, đánh giá loại tiếng ồn này, trong phạm vi tần số từ 300 = 10.000 Hz, không thể vượt quá 105dB.

Kryter đề xuất tiêu chuẩn đánh giá tiếng ồn theo niên tuổi (hình 8 - 11). Tiêu chuẩn này tác giả kết hợp với số liệu tổng kết của phân hội thuộc Hiệp hội tiêu chuẩn Mỹ ZS4 - X2.



Tiêu chuẩn đánh giá thử nghiệm mức ồn nguy hiểm thính giác



Hình 8 - 10. Tiêu chuẩn bảo vệ thính giác (Beranek)

5. Mức ồn ngoài nhà lớn nhất cho phép (tham khảo)

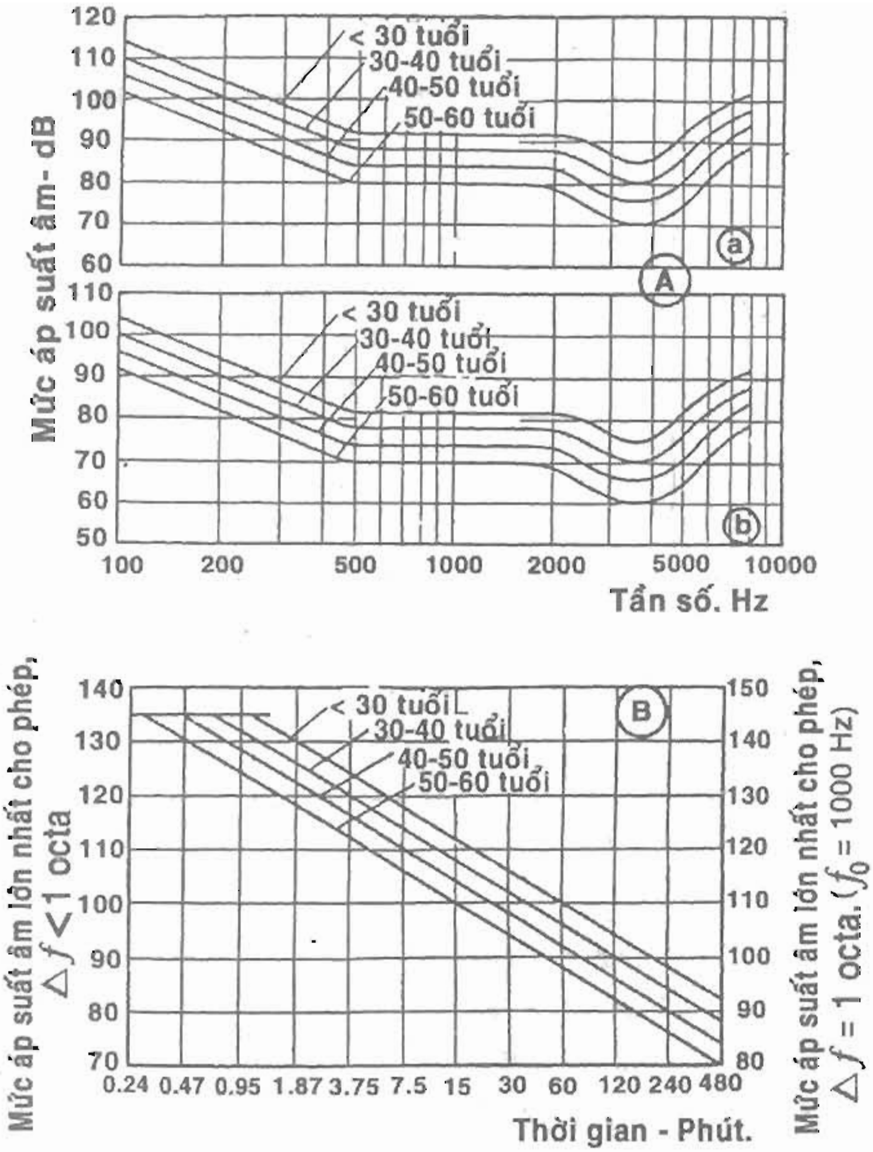
Những giá trị trong bảng 8 - 1 hiệu chỉnh theo bảng 8 - 2 kể tới những ảnh hưởng do đặc điểm, tính chất, thời gian tác dụng.... của nguồn ồn, phụ cận trục giao thông....

Bảng 8 - 1

Khu vực	Thời gian	Đường đồng mức ồn N	Tổng mức ồn dB – A
Khu ở	Ban ngày Ban đêm	N 45 N 35	50 40
Khu hỗn hợp	Ban ngày Ban đêm	N 50 N 40	55 45
Khu công nghiệp	Ban ngày Ban đêm	N 55 N 45	60 50
Bệnh viện	Ban ngày Ban đêm	N 45 N 35	50 40

Bảng 8 - 2. Giá trị hiệu chỉnh cho bảng 8 - 1

Nhân tố ảnh hưởng	Đặc điểm	Giá trị hiệu chỉnh
Tính chất tần số	Chủ yếu là đơn âm Tiếng ồn dải tần số rộng	+ 5 0
Đặc điểm	Bột phát Liên tục	+ 5 0
Tính chất trùng lặp thời gian tác dụng tính với 30 phút	Mỗi phút một lần Mỗi giờ 10 – 60 lần Mỗi giờ 1 – 10 lần Mỗi ngày 4 – 20 lần Mỗi ngày 1 – 4 lần Mỗi ngày 1 lần	0 5 - 10 - 15 - 20 - 25
Thời tiết	Mùa Đông Mùa Hè	- 5 0
Hoàn cảnh (phương tiện, vận chuyển ...)	Nông thôn Thành thị Khu ở hoặc phố ở Đường khu vực, phố gần công xưởng Đại lộ, khu công nghiệp nặng	+ 5 0 - 5 - 10 - 15



Hình 8 - 11

A – Tiêu chuẩn đánh giá tổn thương thính giác

a) Tiếng ồn dải tần số rộng liên tục 8 giờ, đo theo ốcta

b) Tiếng ồn đơn và trong dải ốcta của nó

B – Tiêu chuẩn đánh giá tổn thương thính giác đối với tiếng ồn tác dụng liên tục 8 hoặc < 8giờ

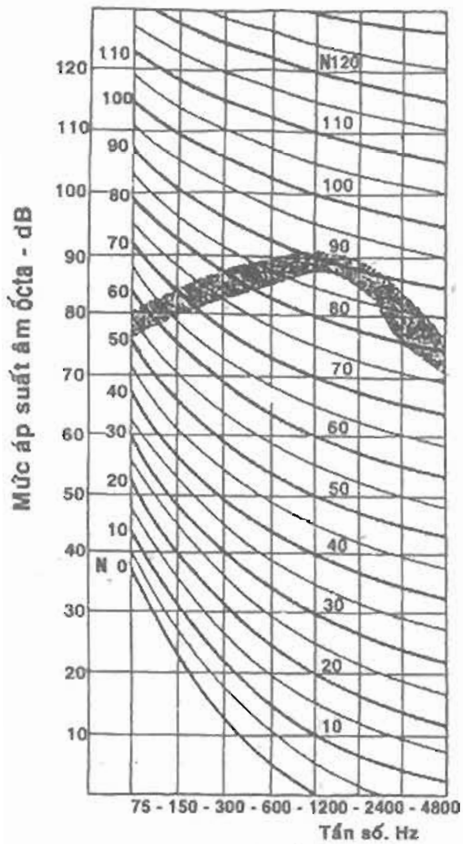
- Tung độ bên trái: cho dải tần số Δf < 1ốcta

- Tung độ bên phải: cho dải tần số 1ốcta với f_0 = 1000Hz

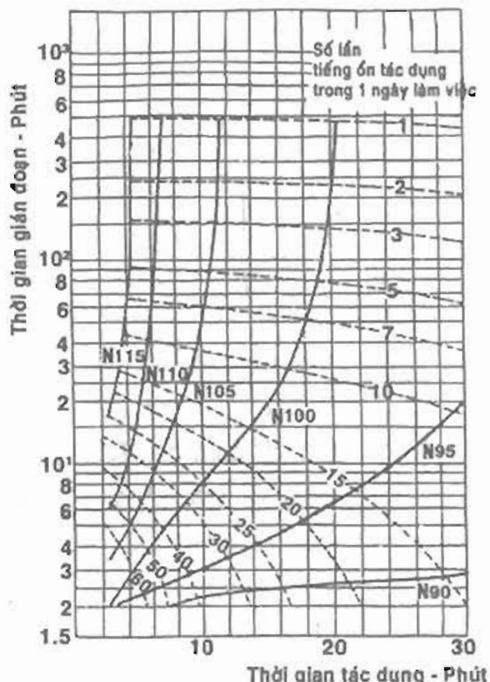
Đối với tiếng ồn đơn và trong dải tần số 1 ốcta của nó không nên vượt quá 135dB

Đối với dải tần số 1 ốcta không vượt quá 145dB

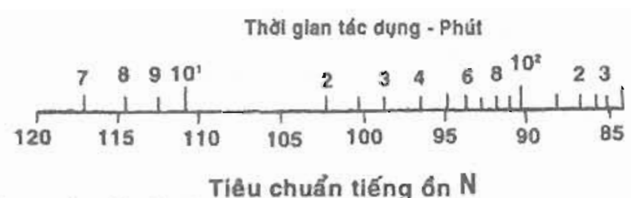
Đường cong tiêu chuẩn đồng mức ồn **N** cho phép (hình 8 - 12).



Đường cong tiêu chuẩn đồng mức ồn N cho phép



Đường đồng mức ồn N tác dụng gián đoạn



Tiêu chuẩn tiếng ồn lớn nhất cho phép khi thời gian tác dụng liên tục < 5 giờ

Hình 8 - 12. Tiêu chuẩn tiếng ồn N

6. Tiêu chuẩn đánh giá mức gây nhiễu độ rõ nghe âm (gọi tắt mức gây nhiễu)

Mức độ gây nhiễu độ rõ nghe âm (SIL) diễn đạt định nghĩa của mức ồn, tính bằng mức áp suất âm trung bình dB của tiếng ồn trong phạm vi 3 ốcta: 600 – 1200; 1200 – 2400 và 2400 – 4800.

Bảng 8 - 3 liệt kê giá trị gây nhiễu tương ứng với khoảng cách đến nguồn âm và mức âm (dB) vừa đủ cho phép nghe rõ.

Bảng 8 - 3. Mức gây nhiễu tính bằng mức áp suất âm trung bình (dB) của 3 ốcta (từ 600 – 4800Hz)

Khoảng cách giữa diễn giả và người nghe (mét)	Mức phát âm (dB) (Mức gây nhiễu)			
	Bình thường	Tăng giọng	Rất to	Hét lớn
0,15	71	71	83	89
0,30	65	71	77	83
0,60	59	65	71	77
0,90	55	61	67	73
1,20	53	59	65	71
1,50	51	57	63	69
1.80	49	55	61	67
3,60	43	49	55	61

Những giá trị trong bảng với phòng không có mặt phản xạ âm, người nghe đối mặt với diễn giả. Nếu phòng có mặt phản xạ âm, khoảng cách giữa diễn giả và thính giả xa hơn, mức ồn có thể cao hơn giá trị trong bảng 8 - 3.

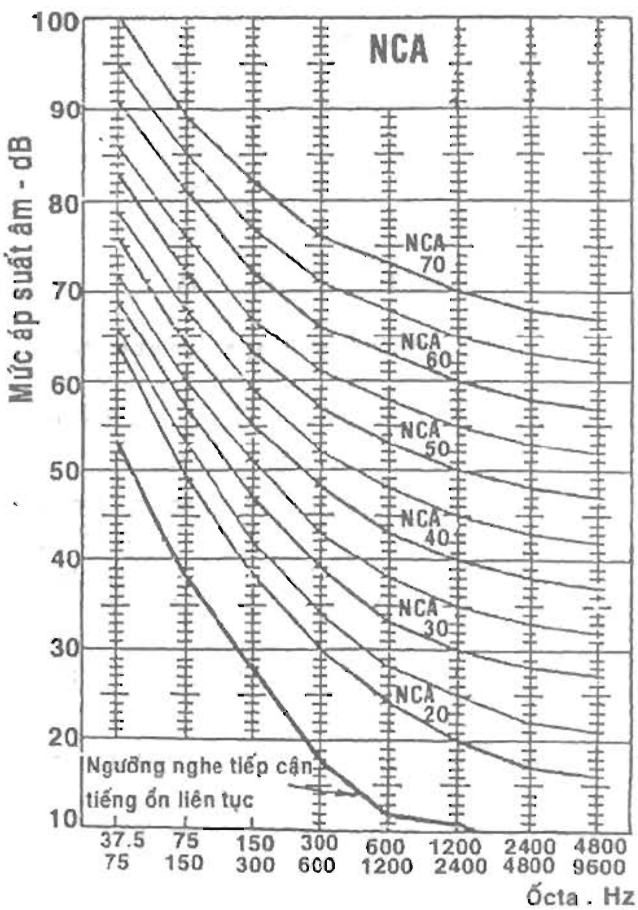
Tuy rằng, quy định mức gây nhiễu trong dải tần số 3 ốcta, nhưng nếu mức ồn của âm thấp tần rất lớn sẽ gây nhiễu độ rõ.

6.1. Đường cong đánh giá mức gây nhiễu NCA

Đường cong mức gây nhiễu **NCA** (Noise Criterion Alfernate) – Tiêu chuẩn đánh giá tiếng ồn bổ sung, khi tiếng ồn tần số thấp, không vượt quá mức chỉ dẫn.

Thí dụ:

Mức gây nhiễu yêu cầu 50 dB, ở ốcta 37 – 75, mức ồn không vượt

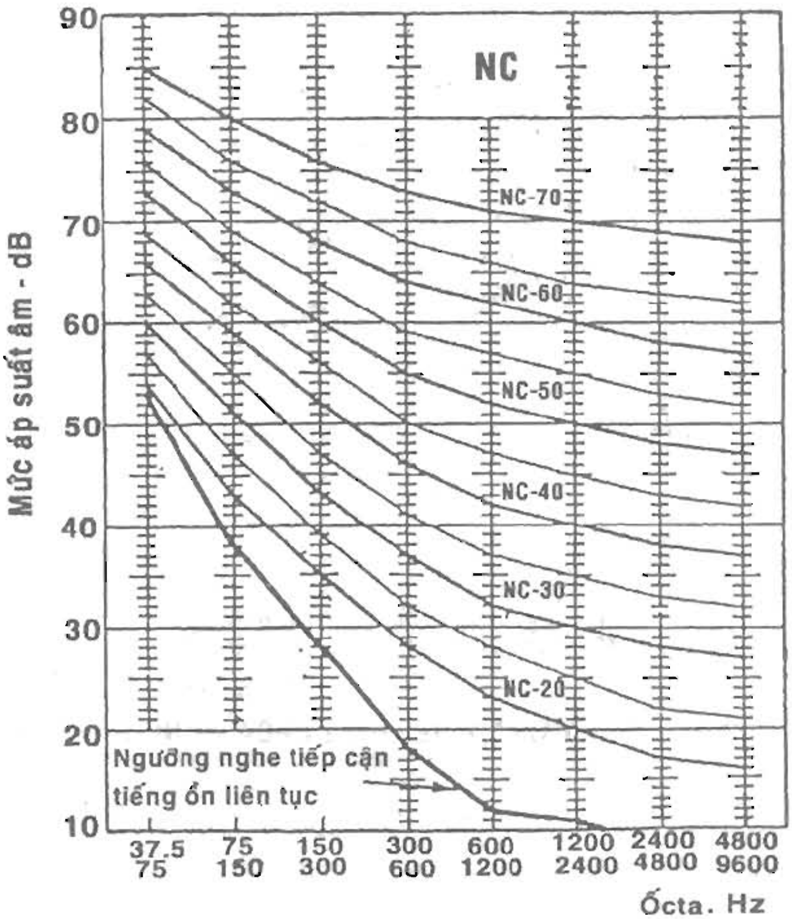


Hình 8 - 13. Mức nhiễu nghe nhọc sức NCA – (Beranek)

quá 83 dB. Ở ốcta 75 – 150 mức ồn không vượt quá 72 dB ...

Trong biểu đồ hình 8 - 13 quy định mức ồn tần số thấp đủ nghe rõ nhưng nghe rất nhọc sức. Chỉ sử dụng đường cong này khi có áp lực về kinh tế.

6.2. Đường cong đánh giá mức gây nhiễu NC (Noise Criterrion) – Tiêu chuẩn đánh giá tiếng ồn



Hình 8 - 14. Mức nhiễu nghe thoải mái – (Beranek)

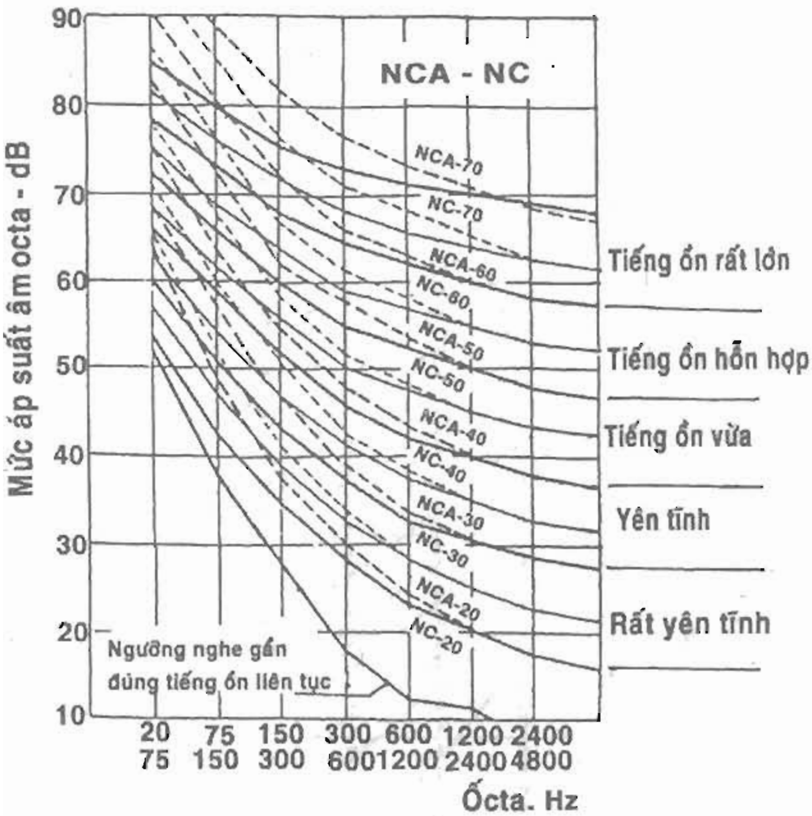
Tiêu chuẩn đánh giá mức gây nhiễu **NC** đảm bảo điều kiện nghe rõ thoải mái – tiêu chuẩn phổ biến nhất, được nhiều quốc gia sử dụng (hình 8 - 14).

Thí dụ:

Mức nhiễu **NC** yêu cầu **NC** 50 dB, mức ồn ở tần số 37 – 75 Hz không vượt quá 73 dB, ở ốcta 75 – 150, mức ồn không vượt quá 66 dB ... thấp hơn tiêu chuẩn **NCA** 8 và 6 dB ở hai ốcta tương ứng.

Nhiều quốc gia trên thế giới áp dụng tiêu chuẩn đánh giá **NC**. Tùy điều kiện và yêu cầu cụ thể, kết hợp sử dụng các tiêu chuẩn khác để giải quyết bài toán thực tế.

6.3. So sánh hai đường cong – Đánh giá mức gây nhiễu NCA và NC (hình 8 -15)



Hình 8 - 15. So sánh 2 tiêu chuẩn NCA và NC (Beranek)

Giá trị của **NC** nhỏ hơn giá trị của **NCA**, tần số càng thấp, giá trị sai lệch càng nhiều. Có nghĩa là mức gây nhiễu của **NC** quy định thấp hơn **NCA**. Thường sử dụng như sau:

- Đánh giá mức gây nhiễu của tiếng ồn, sử dụng tiêu chuẩn **NC**.
- Khi cần giảm mức gây nhiễu của âm trầm đánh giá bằng tiêu chuẩn **NCA**.
- Khi có áp lực kinh tế, sử dụng tiêu chuẩn **NCA**.

6.4. Đường cong đánh giá mức gây nhiễu PNC (Preferred Noise Criteria)

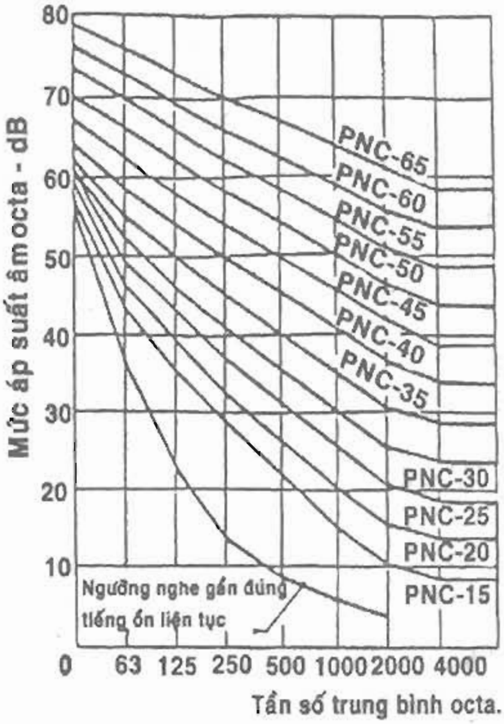
Đường cong đánh giá mức gây nhiễu PNC sử dụng kết hợp với đường cong **NC** (hình 8 - 16).

Đường cong **PNC** cho phép phạm vi đánh giá rộng hơn về hai phía tần số thấp và tần số cao, thuận tiện sử dụng khi gặp phổ tiếng ồn rộng.

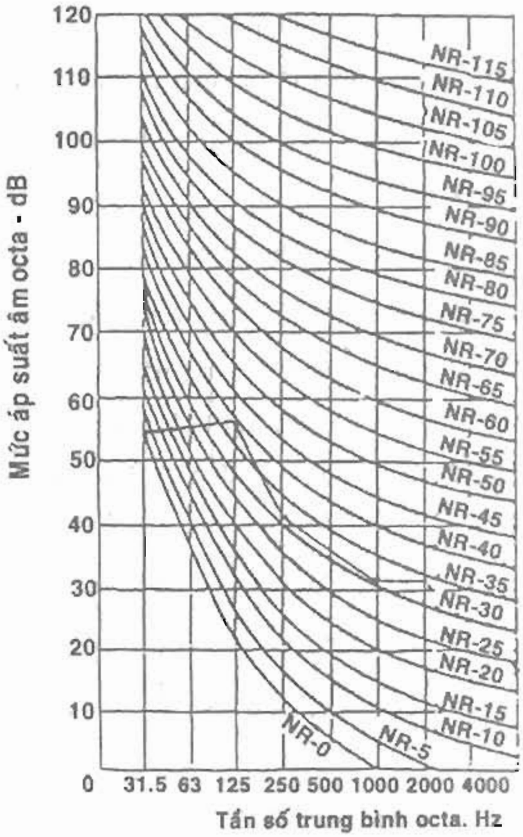
6.5. Đường cong đánh giá mức gây nhiễu NR (Noise Rating) (hình 8 -17)

Đường cong **NR** thành lập trên cơ sở đường đồng mức to.

Giá trị **NR** tính bằng dB ở tần số trung bình các ốcta của phổ ồn, so sánh với mức áp suất âm của âm chuẩn tần số 1000Hz.



Hình 8 - 16. Đường cong đánh giá tiếng ồn NPC



Mức ồn L_A theo thang A, khi chuyển sang đường cong NR: NR = L_A – 5

Hình 8 - 17. Đường cong đánh giá tiếng ồn NR

Mức âm (mức ồn) theo thang **A**, **L_A** (dB – A) chuyển sang đường cong **NR** thấp hơn 5 – 8dB, do đó có thể biểu thị quan hệ giữa giá trị mức âm (dB – A) với giá trị **NR** như sau:

$$NR = L_A - 5 \quad (dB)$$

Đánh giá mức gây nhiễu theo tiêu chuẩn **NR**, trước hết tổ chức đo thực tế theo phổ ồn của **NR**, sau đó so sánh kết quả đo đạc với chuẩn **NR** (hình 8 - 17).

Đường **NR** đánh giá là đường phía trên kế đường khảo sát, trong thí dụ là đường **N39**.

Thí dụ ứng dụng:

Ứng dụng các tiêu chuẩn đánh giá mức gây nhiễu rất giản đơn và tiện lợi:

- **Nguồn ồn cùng phòng**: thông qua đo đạc mức ồn có thể quyết định những điều kiện bảo đảm nghe rõ, không bị tiếng ồn gây nhiễu, hoặc là cần làm giảm nhỏ bao nhiêu mức ồn trong phòng mới đủ nghe rõ.

- **Nguồn ồn khác phòng (ngoài phòng)**: xác định khả năng cách âm của kết cấu phân cách hoặc giải pháp cách ly nguồn ồn.

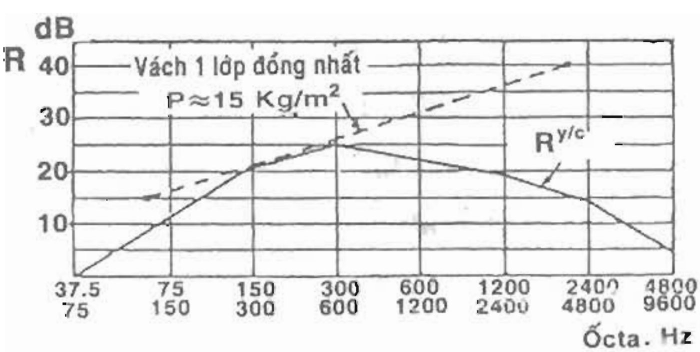
Thí dụ:

Một văn phòng liền kề công xưởng, yêu cầu nghe rõ tiếng nói bình thường với khoảng cách 0,6m.

Từ bảng 8 - 3 và đường cong **NC** (hình 8 - 13) tìm được tiêu chuẩn **NC59** nghe thoải mái. Nếu cho phép nghe rõ tương đối khó khăn hơn lấy giá trị của tiêu chuẩn **NCA** (hình 8 - 12) sẽ có mức ồn cho phép lớn nhất trong văn phòng (bảng 8 - 4), nếu mức ồn trong xưởng có giá trị xấp xỉ bảng 8 - 4, lượng cách âm của kết cấu phân cách cũng xác định từ mức âm chênh lệch ghi trong bảng.

Bảng 8 - 4

Ốcta (Hz)	37 đến 75	75 đến 150	150 đến 300	300 đến 600	600 đến 1200	1200 đến 2400	2400 đến 4800	4800 đến 9600
Mức ồn trong công xưởng (dB)	90	92	92	90	84	78	71	60
Mức ồn cho phép	90	80	71	62	62	59	57	56
Chênh lệch – lượng cách âm yêu cầu (dB)	0	12	21	22	22	19	14	4



Hình 8 - 18. Thí dụ áp dụng mức gây nhiễu

Trên cơ sở đó xác định lượng cách âm yêu cầu đối với kết cấu phân cách. Bằng phép tính đơn giản (sẽ trình bày sau), xác định được kết cấu phân cách đặc 1 lớp đồng nhất, khối lượng $15kg/m^2$. Đặc tính cách âm của kết cấu này mô tả trong (hình 8 - 18).

Thực tế, lượng cách âm ở tần số thấp và tần số cao vượt yêu cầu quá nhiều, nhưng là một kết cấu hoàn chỉnh. Muốn bảo đảm nghe rõ thoải mái (tiêu chuẩn **NC**) trong cùng điều kiện, cũng tính toán tương tự, xác định được kết cấu phân cách khối lượng $30kg/m^2$.

Theo kiến nghị của Beranek, mức ồn trong văn phòng đánh giá đồng thời bằng hai tiêu chuẩn (hình 8 - 19).

- Tiêu chuẩn đánh giá thứ nhất: mức gây nhiễu (SIL) – Tiêu chuẩn **NC**.

Trong văn phòng của người phụ trách cao cấp, nghe rõ rất quan trọng, trong đó đánh giá tiếng ồn bằng mức gây nhiễu (hình 8 - 19).

Thí dụ: mức gây nhiễu của tiếng ồn 30 dB, trong phòng yên lặng. Mức nhiễu 55 dB trong phòng ồn ào.

- Tiêu chuẩn đánh giá thứ hai: đánh giá bằng ***mức to*** của tiếng ồn (Fôn).

Mức to của tiếng ồn không vượt quá mức gây nhiễu 22 đơn vị. Chẳng hạn: mức gây nhiễu 40 dB, mức to của tiếng ồn không vượt quá 62 Fôn.

Mức to của tiếng ồn xác định bằng phương pháp S.S. Stevens kiến nghị. Phương pháp này như sau:

- Bước 1: Đo mức áp suất âm (dB) các ốcta của nguồn ồn.
- Bước 2: Từ biểu đồ hình 8 - 20 xác định chỉ số độ to tương đương của các dải ốcta đo đạc.
- Bước 3: Xác định tổng độ to của nguồn theo công thức:

$$S_t = S_M + 0,3\ (\Sigma S - S_M)$$

Trong đó: S_t - tổng độ to (Sôn)

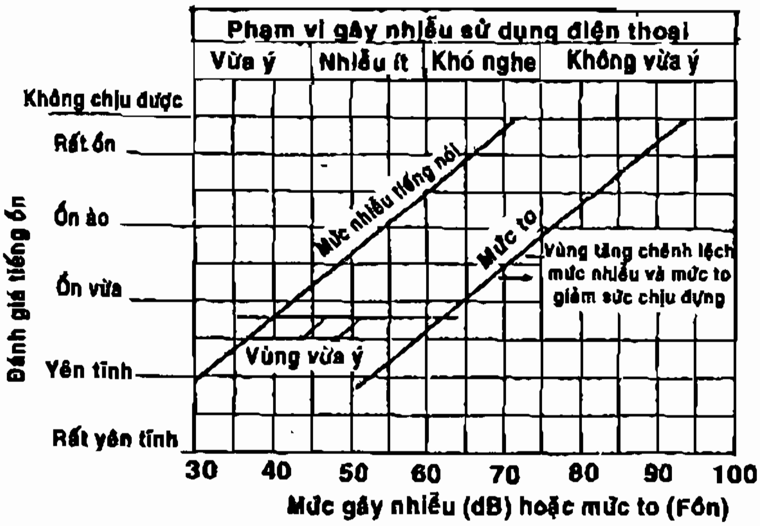
S_M - chỉ số độ to lớn nhất trong các ốcta

ΣS - tổng hợp chỉ số độ to của các ốcta.

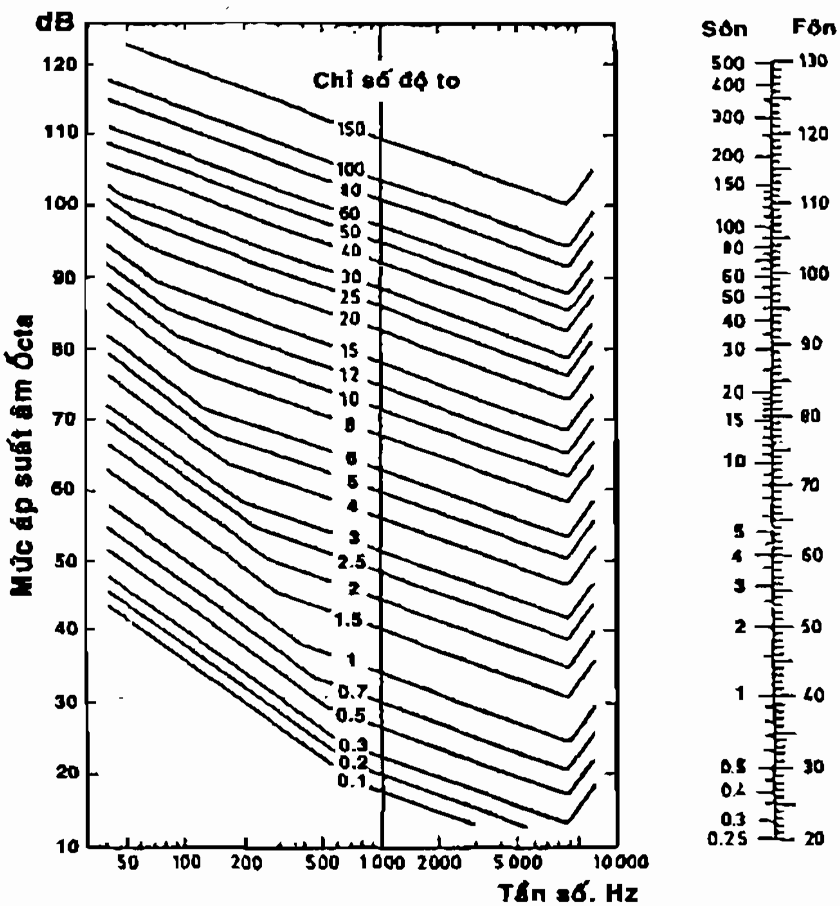
- Bước cuối cùng: Xác định mức to từ biểu đồ quan hệ giữa Sôn và Fôn (hình 8 - 20).

Nếu đo theo dải 1/2 hoặc 1/3 ốcta hằng số 0,3 tương ứng thay bằng 0,2 và 0,15.

Mức to tương đương của đường cong **NC** (hình 8 - 14) so với mức gây nhiễu lớn hơn 22 đơn vị. Nói chung thường sử dụng đường cong **NC**. Mức to tương đương của đường cong **NCA** lớn hơn mức gây nhiễu 30 đơn vị, họ đường cong này chỉ sử dụng khi phải nhượng bộ điều kiện kinh tế, đồng thời tiếng ồn tần số thấp không gây nhiễu nhiều.



Hình 8 - 19. Đánh giá tiếng ồn văn phòng cá nhân



Hình 8 - 20. Biểu đồ xác định chỉ số độ to theo mức áp suất âm Ốcta. Quan hệ Sôn và Fôn

Trong mọi trường hợp, ảnh hưởng của nguồn ồn ngoài nhà lớn hơn trong nhà rất nhiều, vì mức ồn trong nhà hoàn toàn có thể điều chỉnh được.

Thí dụ 1:

Xác định giá trị cho phép của tiếng ồn gián đoạn đối với phòng ở trong nhà nghỉ. Ban ngày tiếng ồn gián đoạn liên tục từ một xí nghiệp xâm nhập có chu kỳ vào phòng, tiếng ồn dải tần rộng, tổng thời gian tác dụng ồn nhất 30 phút. Đo trong 15 phút, bằng 50% thời gian, mức áp suất âm đo được theo dải ốcta và kết quả tính toán ghi trong bảng sau:

	Tần số trung bình của các ốc ta (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mức áp suất âm đo đạc	70	71	58	50	44	43	40	30
Mức áp suất âm cho phép	75	66	59	54	50	47	45	42
Mức áp suất âm cho phép đã hiệu chỉnh (+ 0dB – bảng 8 - 2, + 5dB – bảng 8 - 2)	80	71	64	59	55	52	50	47
Thực đo, vượt quá mức áp suất âm cho phép.	– 10	0	– 6	9	11	9	10	17

Như vậy, mức áp suất âm thực tế vượt quá mức áp suất âm cho phép trong tất cả các dải tần số từ 9 ~ 17dB.

Nếu đánh giá gần đúng mức ồn xâm nhập vào phòng, theo đo đạc thực tế: 57 (dB – A), mức âm cho phép đối với loại phòng này: 55 (dB – A), kể thêm giá trị hiệu chỉnh + 5(dB – A), vậy mức âm tiêu chuẩn cho phép 60 (dB – A).

Mức âm thực tế thấp hơn mức âm tiêu chuẩn: 60 – 57 = 3 (dB – A).

Thí dụ 2:

Xác định giá trị cho phép của tiếng ồn thay đổi.

Tiếng ồn vận tải xâm nhập vào phòng nghỉ của khu vực nghỉ vào ban đêm. Tính mức âm tương đương $L_{Atđ}$ (dB – A).

Đo trong 30 phút ồn nhất vào ban đêm, ghi mức âm bằng máy đo ồn, cácn một giây đo một lần (băng tự ghi) kết quả đo ghi trong bảng sau (đã phân tích thành từng dải phân cách nhau 5 dB).

Cứ một giây đo một lần, thời gian tác dụng của tiếng ồn đúng bằng số lần đo ghi trong máy.

Tổng thời gian đo bằng:

738" + 326" + 288" + 245" + 152" + 36" + 15" = 30" ×60" = 1800 (giây)

Kết quả đo

(Cách một giây đo một lần)

Các dải mức âm cách nhau 5dB (dB – A)	Mức âm trung bình của các dải (dB – A)	Số lần đo trên bảng ghi của máy đối với các dải (lần)
Dải 1 : 38 – 42	40	738
Dải 2 : 43 – 47	45	326
Dải 3 : 48 – 52	50	288
Dải 4 : 53 – 57	55	245 } 1800" = 30'
Dải 5 : 58 – 62	60	152
Dải 6 : 63 – 67	65	36
Dải 7 : 68 – 72	70	15

Kết quả tính toán

Mức âm trung bình của các dải (dB – A)	Số lần đo	Thời gian tác dụng của các dải (giây)	% Thời gian tác dụng của các dải so với tổng thời gian đo đạc f_i (%)	$0,1\ L_{A_i}$	$10^{0,1L_{Ai}}$	$f_i\ 10^{0,1L_{Ai}}$
40	738	738	$f_i = \frac{738}{1800}.100 = 41\%$	4	10.000	410.000
45	326	326	18,1	4,5	31.620	572.322
50	288	288	16	5	100.000	1.600.000
55	245	245	13,6	5,5	316.200	4.300.320
60	152	152	8,5	6	1.000.000	8.500.000
65	36	36	2	6,5	3.162.000	6.324.000
70	15	15	0,8	7	10 000.000	8.000.000

$$\Sigma f.10^{0,1L_{Ai}} = 29.706.642$$

Vậy:

$$L_{Atd} = 10.\lg\left(\frac{1}{100}.\Sigma f.10^{0,1L_{Ai}}\right)$$

$$L_{Atd} = 10.\lg\left(\frac{1}{100}.29.706.642\right) = 55 \quad (dB - A)$$

Mức âm cho phép: 40 dB – A (bảng 8-1)

Tính chất tiếng ồn: 0 dB – A (bảng 8-2)

Phòng nghỉ trong khu nghỉ mát: +5 dB – A (bảng 8-3)

Mức âm cho phép đã hiệu chỉnh: 45 (dB – A)

Mức cho phép trong phòng nghỉ này 40 (dB – A), tính thêm giá trị hiệu chỉnh, mức âm cho phép bằng 45 (dB – A).

Vậy mức âm thực tế vượt mức âm cho phép: 55 – 45 = 10 (dB – A).

Chương 9

LAN TRUYỀN TIẾNG ỒN TRONG KHÔNG GIAN QUY HOẠCH VÀ NGUYÊN LÝ NGĂN CÁCH

I. PHƯƠNG THỨC LAN TRUYỀN TIẾNG ỒN TRONG KHÔNG GIAN QUY HOẠCH

Phương thức lan truyền tiếng ồn khác nhau, phương pháp ngăn cách khác nhau.

Trong kỹ thuật chống ồn thường gặp hai phương thức lan truyền tiếng ồn:

1. Không khí lan truyền tiếng ồn (gọi tắt là tiếng ồn không khí)

Có hai trường hợp:

- Sóng âm trực tiếp lan truyền trong môi trường không khí (lan truyền âm trực tiếp), thí dụ sóng âm lan truyền ở ngoài trời quang đãng hoặc lan truyền từ phòng này qua phòng kia thông qua khe hở của kết cấu bao che: tường, trần ....

- Dao động lan truyền tiếng ồn (dao động truyền âm). Sóng âm lan truyền trong không khí, khi tới trên kết cấu ngăn cách, gây trên bề mặt kết cấu một áp lực, cưỡng bức kết cấu dao động và bức xạ dao động này ở phía bên kia của kết cấu, kết quả sóng âm truyền qua kết cấu tiếp tục lan truyền đi.

2. Va chạm lan truyền tiếng ồn (tiếng ồn va-chạm)

Tiếng ồn do vật rắn trực tiếp va chạm với nhau hoặc máy móc rung động trên cấu kiện của nhà gây ra: tiếng rung động trong một phòng, qua nền đất truyền sang phòng lân cận, tiếng giầy, tiếng guốc đi trên sàn truyền xuống phòng dưới ...

Ngăn cách tiếng ồn do kết quả tổng hợp của nhiều biện pháp từ quy hoạch chung, tổ chức mặt bằng công trình, xử lý kết cấu ngăn cách, xử lý hút âm trong phòng ...

II. QUY HOẠCH MẶT BẰNG VÀ CHỐNG ỒN

Biện pháp chống ồn rẻ nhất và đơn giản nhất bắt đầu từ tổ chức quy hoạch chung hợp lý, giảm nhỏ tiếng ồn bằng cách phân chia thành phố thành các khu vực cách biệt nhau theo mức độ ồn ào và yên tĩnh: khu công nghiệp, khu các công trình công cộng và phục vụ, khu dân cư, khu bệnh viện an dưỡng, khu hành chính ... Như vậy không phải sử dụng kết cấu ngăn cách chất lượng cao hoặc không cần thiết ngăn cách tiếng ồn.

Theo mức độ ồn, có thể phân chia thành phố thành bốn khu vực:

1 - Khu vực công nghiệp ồn nhất, mức cường độ ≥ 80dB, trong đó đặt những xí nghiệp và đường phố đi lại ồn ào nhộn nhịp nhất.

2 - Trung tâm công cộng và buôn bán của thành phố, khu vực này tương đối ồn ào do cường độ chuyển động của các phương tiện vận tải và người đi bộ, mức cường độ ồn đến 70dB.

3 - Khu vực dân cư tương đối yên lặng trong thành phố, mức cường độ ồn đến 60dB.

4 - Khu vực yên tĩnh, trong đó gồm những công trình như: bệnh viện, phòng phát thanh, thư viện ... mức cường độ ồn trong khu vực này không vượt quá 50dB.

Trong tổng mặt bằng đô thị, căn cứ theo số liệu khí tượng về hướng gió chủ đạo của các mùa khác nhau trong năm, bố trí khu công nghiệp ở cuối gió đối với khu nhà ở. Chiều rộng vùng cách ly giữa hai khu vực này xác định theo yêu cầu vệ sinh, bảo đảm mức cường độ ồn trong phạm vi vùng xây dựng thấp hơn giới hạn cho phép.

Tiếng ồn lan truyền trong không gian của các khu vực đô thị thường thấy những phương thức sau:

- Tiếng ồn lan truyền trong không gian tự do qua những bề mặt có lớp phủ khác nhau: mặt đất trần, mặt đất phủ cỏ xanh, mặt đất phủ bê tông nhựa đường....

- Tiếng ồn lan truyền trong không gian qua những khối cây xanh lấp đầy khoảng trống hoặc qua từng dải cây xanh trong khoảng trống.

- Tiếng ồn lan truyền trong không gian qua các vật chắn: nhà cửa, tường vây, bờ đê, chướng ngại ...

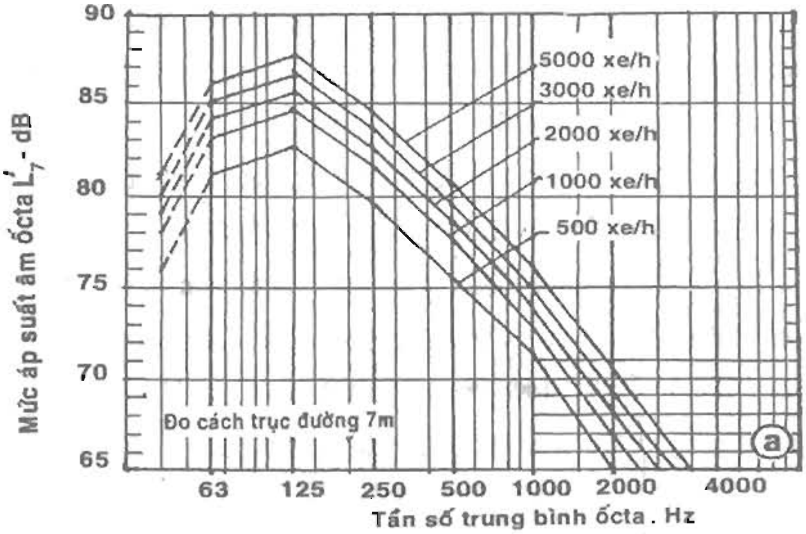
Chướng ngại khác nhau, tạo nên độ giảm mức ồn khác nhau, phương pháp tính toán cũng khác nhau.

III. NGUỒN ỒN NGOÀI NHÀ

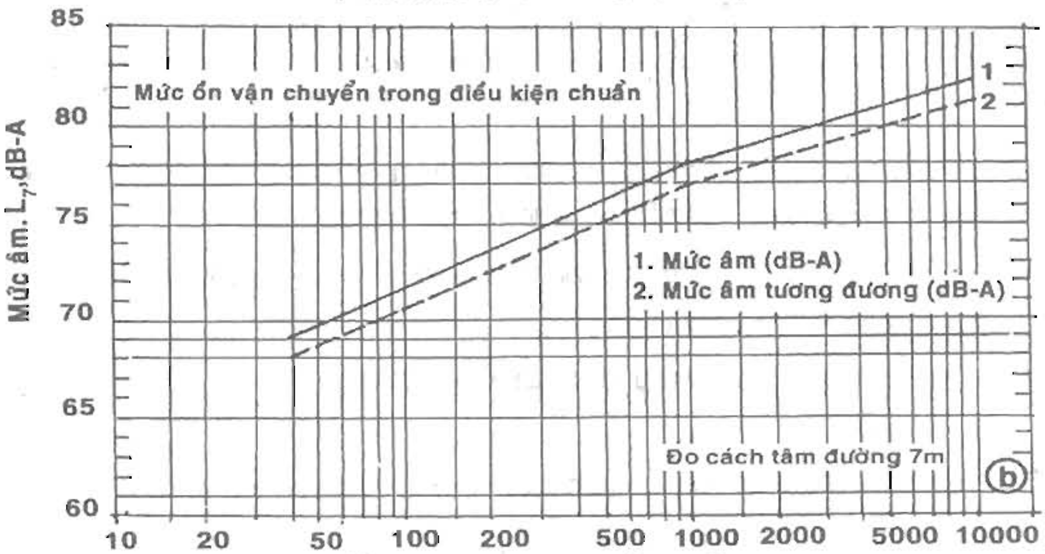
Để đánh giá tiếng ồn theo tiêu chuẩn vệ sinh, cần tổ chức đo mức độ cường độ ồn các quãng tần số với tần số trung bình từ 63 – 8000 Hz, tính bằng dB, đồng thời để đánh giá gần đúng mức ồn tổng hợp tiến hành đo mức âm, tính bằng dB – A, có thể tham khảo những số liệu (hình 9 - 1) và (hình 9 - 2).

Mức ồn L_{A7} của dòng vận chuyển phụ thuộc vào phương tiện vận chuyển, mật độ vận chuyển (số xe N/h), tốc độ vận chuyển (km/h) và thành phần các phương tiện vận chuyển trong dòng.

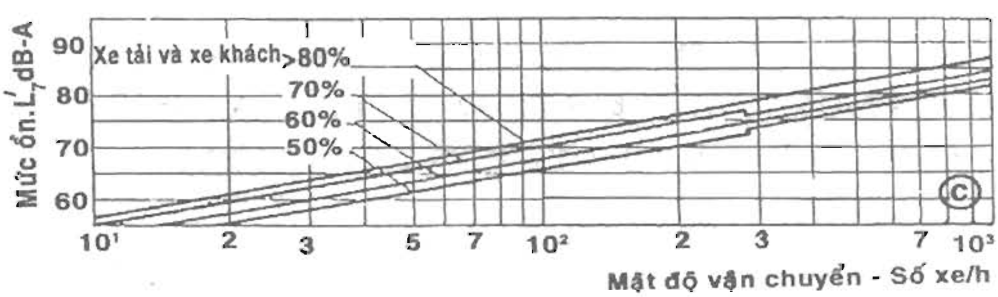
Biểu đồ xác định mức ồn của dòng vận chuyển trong điều kiện chuẩn: 60% xe tải và xe khách, tốc độ 40km/h, độ dốc mặt đường 0% (hình 9 - 1b).



a) Phổ mức ồn của dòng vận chuyển



b) Mật độ vận chuyển - Số xe/h



c) Mật độ vận chuyển và mức ồn

Hình 9 - 1. Mức ồn giao thông

Điều kiện thực tế không phù hợp điều kiện chuẩn, kể thêm hệ số hiệu chỉnh ΣD:

$$L_{A7} = L'_{A7} + \Sigma D \quad (dB)$$

Trong đó: L'_{A7} - mức áp suất âm ốcta đo cách trục đường 7m, dB:

$$\Sigma D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$$

D_1 - xét tới thành phần xe tải và xe khách khác 60%, cứ thay đổi ± 10%, tính thêm 1 dB.

D_2 - xét tới tốc độ vận chuyển khác 40 km/h, cứ thay đổi ± 10%, tính thêm 1dB.

D_3 - xét tới đường không bằng phẳng, cứ dốc ± 2%, tính thêm 1 dB

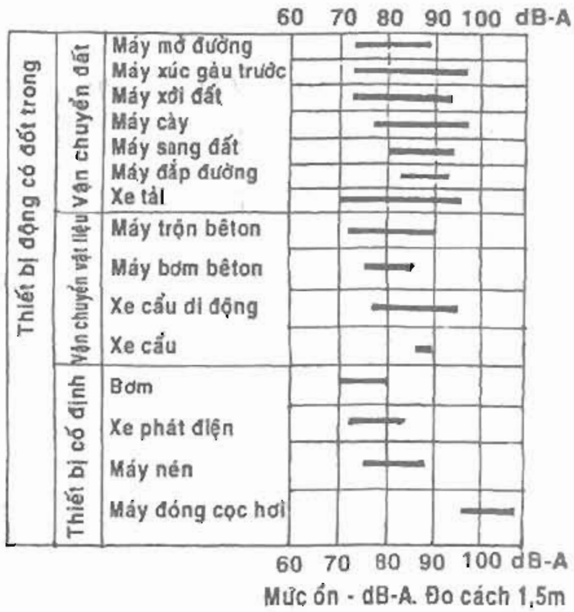
D_4 - xét tới sự có mặt của tàu điện, nếu có tàu điện + 3 dB.

Khi tính toán có thể lấy điều kiện bất lợi nhất, coi cường độ của các xe như nhau: $I_1 = I_2 = I_3 = ... = I_n$ và dùng công thức:

$$L_{A7} = 46 + 11{,}8.\lg N + \Sigma D \ (dB - A)$$

Có thể thừa nhận mức âm tương đương nhỏ hơn mức âm 2 dB:

$$L_{ATd} = L_A - 2 \ (dB - A)$$



Hình 9 - 2. Mức ồn của một số máy xây dựng

IV. ĐỘ GIẢM MỨC ỒN LAN TRUYỀN TRONG KHÔNG GIAN QUY HOẠCH

Lan truyền tiếng ồn trong không gian quy hoạch là một trường hợp đặc biệt của định luật vật lý về sự lan truyền sóng âm.

Trong lớp khí quyển trên mặt đất, sự lan truyền sóng âm phụ thuộc vào một loạt những nhân tố chung và riêng: Nhân tố chung là môi trường không khí, nhân tố riêng là sự tồn tại các công trình, cây cỏ, những chướng ngại ... Những nhân tố quyết định độ giảm mức ồn trong vùng xây dựng thành phố có thể biểu thị bằng công thức:

$$L_n = L_1 - (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + ...)$$

Trong đó: L_n - mức áp suất âm (hoặc mức âm) tại điểm bảo vệ cách nguồn ồn n mét.

L_1 - mức áp suất âm (hoặc mức âm) đã biết, đo tại vị trí cách nguồn một khoảng cách cho trước.

A_1 - độ giảm mức ồn trong khí quyển do năng lượng âm khuếch tán vào không gian.

A_2 - độ giảm mức ồn do tác dụng hút âm của không khí.

A_3 - độ giảm mức ồn do ảnh hưởng của lớp phủ khác nhau trên mặt đất.

A_4 - độ giảm mức ồn do ảnh hưởng của cây xanh.

A_5 - độ giảm mức ồn do ảnh hưởng của các loại chướng ngại.

Những yếu tố này, trong điều kiện cụ thể làm thay đổi chế độ ồn trong đô thị.

Bảng 9 - 1. Hệ số tắt dần khi sóng âm lan truyền trong khí quyển (dB/100 mét)

Nhiệt độ	Độ ẩm tương đối, φ %	Tần số (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
30^0C (86^0F)	30	0,04	0,15	0,38	0,68	1,2	3,2
	50	0,03	0,10	0,33	0,75	1,3	2,5
	70	0,02	0,08	0,27	0,74	1,4	2,5
20^0C (68^0F)	30	0,05	0,14	0,27	0,51	1,3	4,4
	50	0,04	0,12	0,28	0,50	1,0	2,8
	70	0,03	0,10	0,27	0,54	0,96	2,3
10^0C (50^0F)	30	0,05	0,11	0,22	0,61	2,1	7,0
	50	0,04	0,11	0,20	0,41	1,2	4,2
	70	0,04	0,10	0,20	0,38	0,92	3,0
0^0C (32^0F)	30	0,04	0,10	0,31	1,08	3,3	7,4
	50	0,04	0,08	0,19	0,60	2,1	6,7
	70	0,04	0,08	0,16	0,42	1,4	5,1

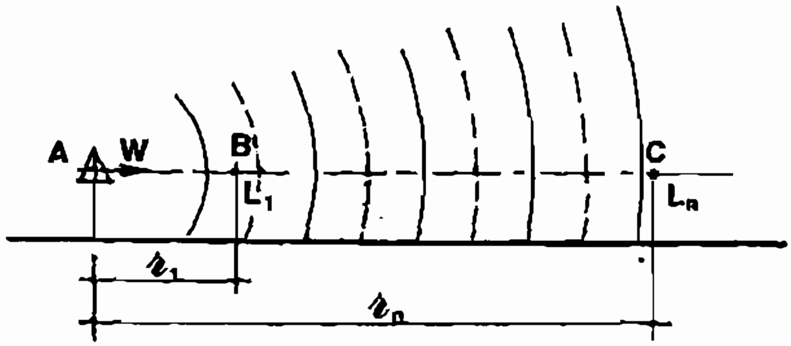
1. Độ giảm mức ồn lan truyền trong khí quyển

Nếu nguồn âm điểm bức xạ sóng cầu, công suất **W** (Watt) khi đó cường độ âm **I** tại điểm cách nguồn ℓ mét, như đã biết rằng:

$$I = \frac{W}{4\pi \ell^2} \quad (\text{Watt/m}^2)$$

Trong đó $4\pi r^2$ - diện tích mặt cầu tâm là nguồn âm, bán kính r mét.

Như vậy quy luật lan truyền sóng âm trong khí quyển, cường độ âm tại điểm cách nguồn r mét tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách r tới nguồn. Theo quy luật này và từ định nghĩa mức áp suất âm, với sơ đồ hình 9 - 3 ta có:



Hình 9 - 3. Năng lượng âm tắt dần khi lan truyền trong không khí

A - Nguồn ồn công suất âm W; B - Điểm đo mức ồn L_1;
C - Điểm bảo vệ, mức ồn cho phép L_n

- **Đối với nguồn điểm** bức xạ sóng cầu: một loa phóng thanh, một ô cửa sổ vuông của một xưởng ồn, một ô tô chạy trên đường v.v ...

Độ giảm mức áp suất âm (dB) bằng:

$$\Delta L = L_1 - L_n = 20.\lg.\frac{r_n}{r_1} \quad \text{(dB)}$$

- **Đối với nguồn đường bức xạ sóng trụ**: mặt băng cửa sổ dài của một xưởng ồn, một dọc phố buôn bán ồn ào, một dọc những nguồn điểm, cách nhau ≤ 20 mét.

$$\Delta L = L_1 - L_n = 10.\lg.\frac{r_n}{r_1} \quad \text{(dB)}$$

Như vậy, đối với nguồn điểm, khi khoảng cách đến nguồn tăng lên gấp đôi, mức áp suất âm giảm 6 dB. Còn đối với nguồn đường, khi khoảng cách tăng gấp đôi mức áp suất âm giảm 3 dB.

Thí dụ:

- **Với nguồn điểm**: Khoảng cách từ 7m tăng lên 14m, tăng lên 28m và tăng lên 56m, độ giảm mức ồn $\Delta L = 6 \times 3 = 18$ dB.

- **Với nguồn đường**: Tương ứng với ba lần tăng khoảng cách trên, độ giảm mức ồn $\Delta L = 3 \times 3 = 9$ dB.

- ***Đối với nguồn dãy***: *Nguồn dãy gồm một dãy những nguồn điểm sắp xếp thứ tự từ nguồn* điểm nọ đến nguồn điểm kia cách nhau > 20mét, trường hợp này độ giảm mức áp suất âm, về giá trị lấy giữa hai độ giảm **ΔL** của nguồn điểm và nguồn đường cùng điều kiện. Độ giảm mức áp suất âm của nguồn dãy phụ thuộc vào khoảng cách **S** giữa các nguồn. Cho rằng các nguồn trong dãy giống nhau, với điều kiện bất lợi nhất, cường độ ồn của các nguồn bằng *nhau, ta có:*

$$S = 1000\frac{V}{N} \quad \text{(mét)}$$

Trong đó: **V** - tốc độ chuyển động của xe, km/h

N - mật độ xe, số xe/h

Có thể thừa nhận những phương trình sau:

Khi $\ell_n \le S/2$:

$$L_n = L_1 - \frac{(20.\lg S - 25,2).(20.\lg \ell_n - 16,9)}{20.\lg S - 22,9} \quad \text{(dB)}$$

Khi $\ell_n > S/2$:

$$L_n = L_1 - 10.\lg S\ell_n - 22,2 \quad \text{(dB)}$$

Trong các công thức tính trên đây:

Mức ồn L_1 đo tại điểm **B** cách tâm của trục đường $\ell_1 = 7$ mét

Khi $S \le 20$m có thể coi nguồn dãy như nguồn đường và tính **ΔL** theo nguồn đường.

Khi cần xác định mức âm theo thang **A** (dB - A) có thể thừa nhận những phương trình sau:

- **Đối với nguồn điểm**:

$$L_n = L_1 - 25.\lg.\frac{\ell_n}{\ell_1} \quad \text{(dB - A)}$$

- **Đối với nguồn đường**:

$$L_n = L_1 - 15.\lg.\frac{\ell_n}{\ell_1} \quad \text{(dB - A)}$$

• **Đối với nguồn dãy:**

Khi $\ell_n \leq S/2$:

$$L_n = L_1 - \frac{(24.\lg S - 30,2).(24.\lg \ell_n - 20,3)}{24.\lg S - 27,5} \quad \text{(dB-A)}$$

Khi $\ell_n > S/2$:

$$L_n = L_1 - 15.\lg S\ell_n + 33,3 \quad \text{(dB-A)}$$

2. Độ giảm mức ồn lan truyền trên mặt đất có lớp phủ khác nhau

Trường hợp này vẫn áp dụng những công thức trên đây tương ứng với các điều kiện cụ thể nhưng nhân thêm với hệ số K_n kể đến tác dụng hút âm của lớp phủ khác nhau trên mặt đất. Giá trị của K_n lấy như sau:

- Đối với mặt đất trần $K_n = 1$
- Mặt đất phủ nhựa đường $K_n = 0,9$
- Mặt đất phủ cỏ xanh $K_n = 1,1$

3. Độ giảm mức ồn lan truyền qua cây xanh

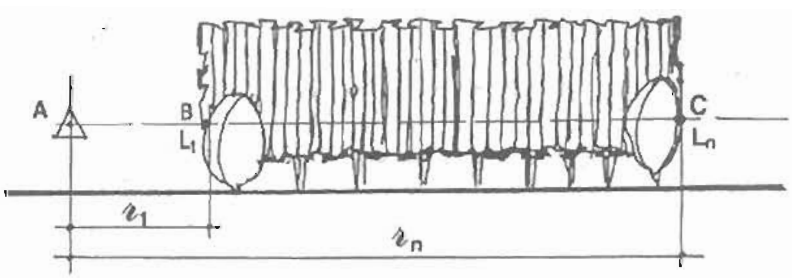
Có hai trường hợp:

• **Cây xanh lấp đầy khoảng trống** (hình 9 - 4)

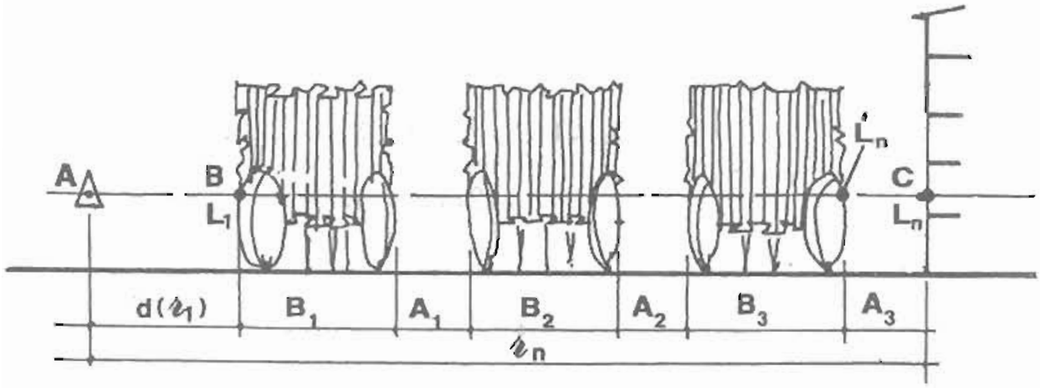
Độ giảm mức áp suất âm cũng xác định bằng những công thức trên theo các trường hợp cụ thể nhưng nhân thêm với hệ số K_z kể đến tác dụng hút âm của cây xanyh. Giá trị K_z lấy như sau:

- Cây xanh trồng xen kẽ, vòm lá rậm, có cây thấp trồng chung quanh, $K_z = 1,5$.

- Cây xanh mang tính chất công viên rừng, vòm lá trung bình và có cây thấp trồng chung quanh, $K_z = 1,2$.



Hình 9 - 4. Cây xanh trồng liên tục trong khoảng trống cách ly



Hình 9 - 5. Cây xanh trồng gián đoạn kết hợp đường đi bộ

- **Cây xanh trồng từng lớp gián đoạn trong khoảng trống** (hình 9 - 5)

Độ giảm mức áp suất âm sau các lớp cây xanh có thể xác định theo công thức đề nghị của Meister và Ruhrberg:

- **Đối với nguồn điểm**:

$$\Delta L'_n = 20.\lg\frac{d + \sum_1^z B_m + \sum_1^z A_m}{d} + 1{,}5Z + \beta.\sum_1^z B_m \quad \text{(dB)}$$

Số hạng đầu tiên của vế phải trong công thức la độ giảm mức áp suất âm trong chiều rộng khoảng trống tương ứng với ℓ_n/ℓ_1 trên đây. Số hạng thứ hai là độ giảm mức áp suất âm trên mặt đứng của các lớp cây xanh, phía sóng âm tới. Số hạng thứ ba là độ giảm mức áp suất âm do tác dụng hút âm của cây xanh, biểu thị bằng hệ số hút âm β, dB/m (hay dB – A/m). Giá trị của β tìm trong (bảng 9 - 2).

Trong đó: **Z** - số lớp cây xanh trong toàn khoảng trống;

B_m - chiều rộng của mỗi lớp cây xanh (mét);

ΣB_m- chiều rộng tất cả các lớp cây xanh trong khoảng trống (m);

A_m - chiều rộng của các khoảng trống giữa các lớp cây xanh (m);

ΣA_m - chiều rộng tất cả các khoảng trống giữa các lớp cây xanh (m);

d - tương ứng với ℓ_1 trên đây - Khoảng cách từ tâm ồn đến mặt đứng của lớp cây xanh đầu tiên (mét).

Độ giảm mức ồn:

$$\Delta L'_n = L_1 - L'_n \quad \text{(dB)}$$

Bảng 9 - 2. Hệ số hút âm của cây xanh (β) (dB/mét)

Tính chất của lớp cây	Giá trị β (dB/m) của các quãng tần số					Mức tổng hợp β (dB/m)
	200 - 400	400 - 800	800 - 1600	1600 - 3200	3200 - 6400	
- Rừng lá rậm	0,05	0,05 - 0,07	0,08 - 01	0,11 - 0,15	0,17 - 0,2	0,12 - 0,17
- Rừng cây dày đặc, vòm lá rậm	0,13 - 0,15	0,17 - 0,25	0,18 - 0,35	0,2 - 0,4	0,3 - 0,5	0,25 - 0,35

- **Đối với nguồn đường**:

$$L_n = L_1 - 10.\lg\frac{\ell_n}{\ell_1} - 1,5Z - \beta.\sum_1^z B_m \quad \text{(dB)}$$

- **Đối với nguồn dãy**:

Khi $\ell_n \le S/2$:

$$L_n = L_1 - \frac{(20.\lg S - 25,2).(20.\lg\ell_n - 16,9)}{20.\lg S - 22,9} - 1,5Z - \beta.\sum_1^z B_m \quad \text{(dB)}$$

Khi $\ell_n > S/2$:

$$L_n = L_1 - 10.\lg S\ell_n - 22,2 - 1,5Z - \beta.\sum_1^z B_m \quad \text{(dB)}$$

Tính theo thang **A** (dB – A)

- **Đối với nguồn điểm**:

$$L_n = L_1 - 25.\lg\frac{\ell_n}{\ell_1} - 1,5Z - \beta.\sum_1^z B_m \quad \text{(dB – A)}$$

- **Đối với nguồn dãy**:

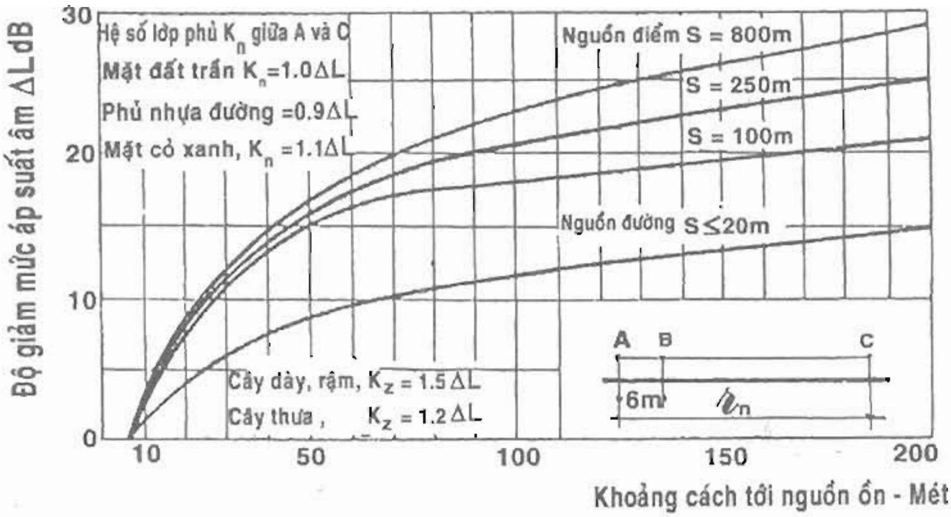
Khi $\ell_n \le S/2$:

$$L_n = L_1 - \frac{(24.\lg S - 30,2).(24.\lg\ell_n - 20,3)}{24.\lg S - 27,5} - 1,5Z - \beta.\sum_1^z B_m \quad \text{(dB – A)}$$

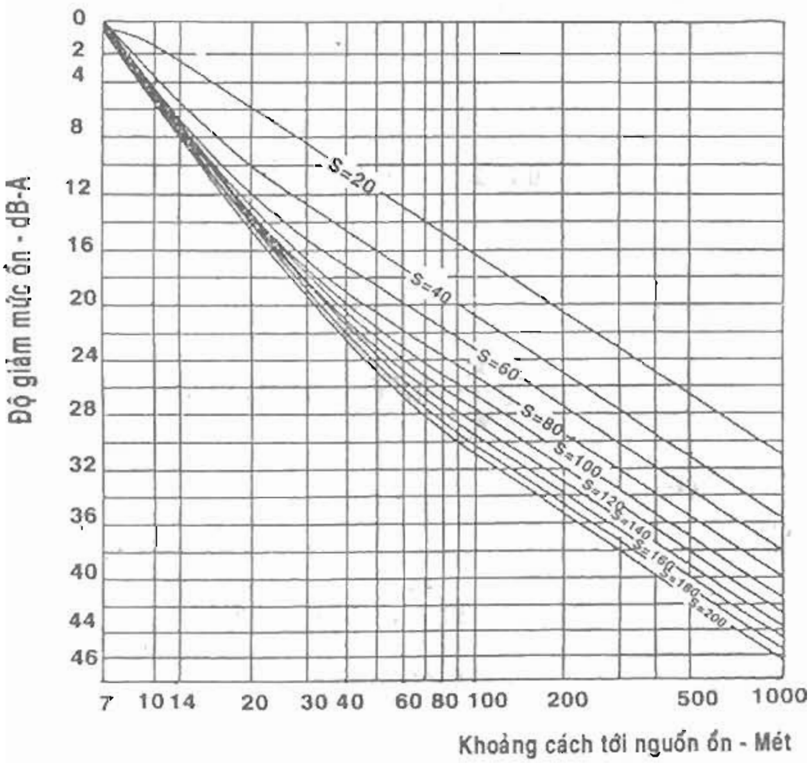
Khi $\ell_n > S/2$:

$$L_n = L_1 - 15.\lg S\ell_n + 33,3 - 1,5Z - \beta.\sum_1^z B_m$$

- Nguồn đường: $L_n = L_1 - 15.\lg\frac{r_n}{r_1} - 1,5Z - \beta\sum_1^Z B_m$ (dB – A)



Hình 9 - 6. Độ giảm mức ồn giao thông lan truyền qua không gian cách ly



Hình 9 - 7. Độ giảm mức ồn giao thông phụ thuộc S và khoảng cách tới dòng xe

Hệ số hút âm của cây xanh β, (dB – A/m), có thể lấy bằng:

+ Cây trồng dày đặc, tán lá rậm   β = 0,25 – 0,35 (dB – A/m)

+ Cây trồng dạng công viên rừng,

tán lá trung bình   β = 0,12 – 0,17 (dB – A/m)

Có thể dùng biểu đồ (hình 9 - 6) hoặc (hình 9 - 7) để đơn giản tính toán.

Qua nhiều nghiên cứu và thực nghiệm cho thấy: độ giảm mức ồn khi lan truyền qua cây xanh không những phụ thuộc vào loại cây, độ dày của cây mà còn phụ thuộc vào đặc tính của nguồn ồn. Hiện nay chưa có đủ số liệu thực nghiệm để rút ra được những kết luận chính xác và thành lập công thức tính toán hoàn thiện, nhất là đối với nguồn đường và nguồn dãy.

Cây xanh ngăn cách được tiếng ồn, khi những lớp cây có đủ chiều dày 5 - 7m, rậm, cao trên 7 mét, tức là có hai lớp cây trở lên (mỗi lớp dày 3m), như vậy cũng phải 5 - 10 năm cây mới đủ lớn theo yêu cầu, do đó trước mắt, áp dụng những biện pháp giảm ồn bằng các vật cản, chướng ngại.

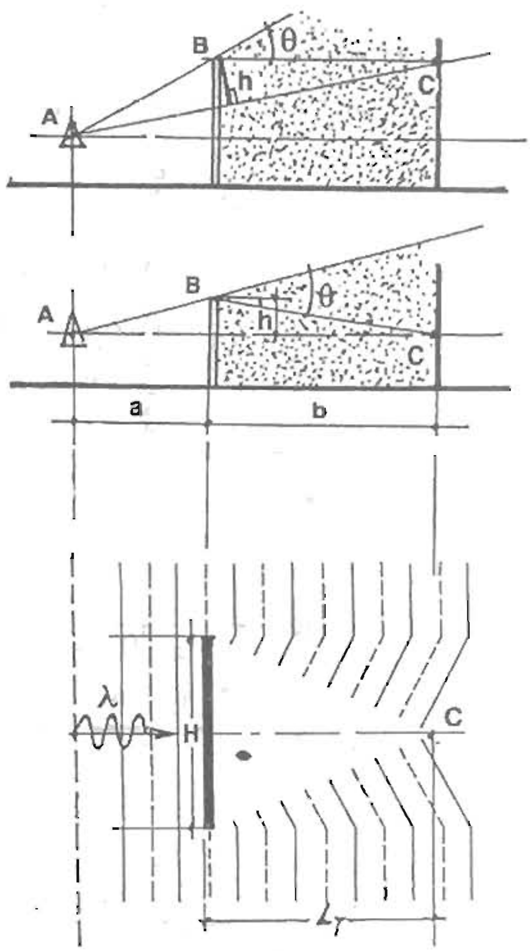
4. Độ giảm mức ồn lan truyền qua vật cản

Khi lan truyền qua vật cản, sóng âm hình thành sau vật cản một vùng bóng âm (hình 9 - 8) trong vùng bóng âm, tiếng ồn không bị loại trừ hoàn toàn do tác dụng nhiễu xạ của sóng âm ở các biên của vật cản. Lượng sóng âm nhiễu xạ sau vật cản phụ thuộc vào tỷ lệ kích thước của vật cản với chiều dài bước sóng λ của sóng âm tới. Cùng một vật cản, kích thước λ càng lớn, vùng bóng âm càng hẹp.

Nếu vật cản rộng H, bước sóng của sóng âm tới λ, chiều dài vùng bóng âm L_T bằng:

$$L_T = \frac{H^2}{4.\lambda} \quad \text{(mét)}$$

Công thức này thiết lập cho nguồn đường, với chiều dài λ của sóng âm tới tương đương hoặc nhỏ hơn H.



Hình 9 - 8. Bóng âm sau vật cản (tường chắn)

Thí dụ:

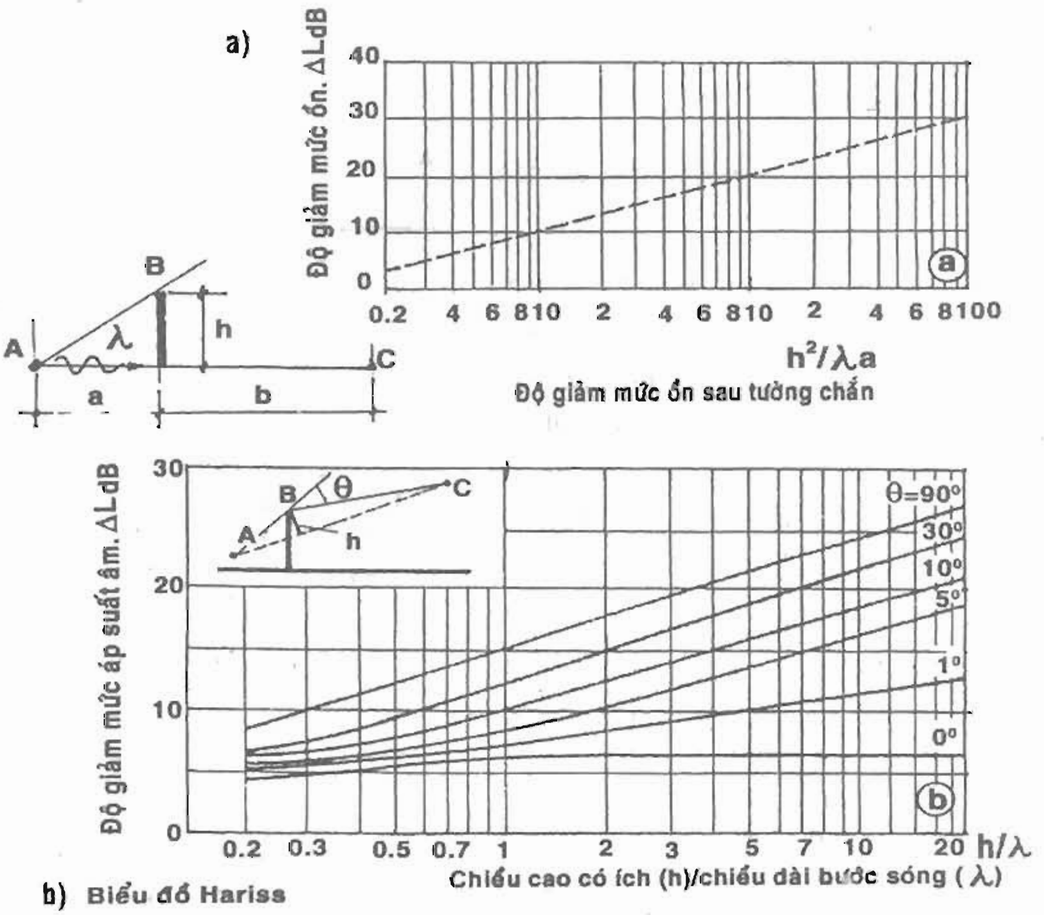
Sóng âm tới tần số f = 100Hz, $\lambda = C/f$ = 3,4m, nếu tường chắn rộng **H** = 10m, chiều dài vùng bóng âm L_T:

$$L_T = \frac{H^2}{4.\lambda} = \frac{10^2}{4 \times 3,4} = 7,4m$$

Tại điểm **C** sau tường chắn, trong vùng bóng âm, độ giảm mức áp suất âm của nguồn ồn từ **A** tới, phụ thuộc vào tỷ số ($h^2/\lambda.a$). Trong đó **h**: chiều cao có ích của tường chắn (hình 9 - 9).

$$\Delta L = f\left(\frac{h^2}{\lambda.a}\right)$$

Quan hệ này có thể biểu thị như biểu đồ hình 9 – 9a khi thiết kế tường chắn, bảo đảm quan hệ **b** ≥ **a** ≥ **h** mới bảo vệ được quy luật giảm mức âm sau tường chắn.



Hình 9 - 9. Tác dụng giảm nhỏ tiếng ồn của tường chắn tạo vùng bóng âm

V. MỘT SỐ THÍ DỤ

Khi xây dựng đô thị có thể căn cứ những điều kiện cụ thể, lựa chọn áp dụng những biện pháp giới thiệu trên dây để cách ly và giảm nhỏ tiếng ồn.

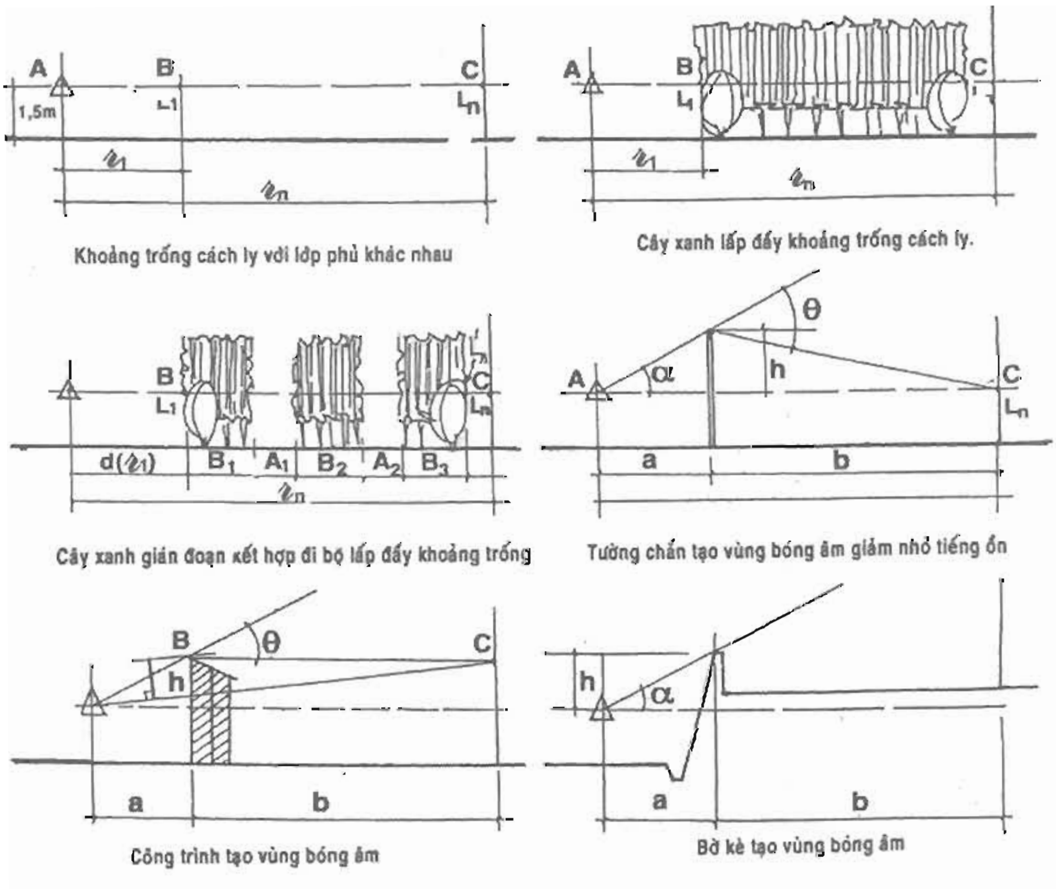
Muốn xác định độ giảm mức ồn tương ứng với những biện pháp đã chọn, trước tiên xác định hai số liệu cơ bản sau:

- Xác định mức âm, mức áp suất âm cho phép tại điểm tính toán (điểm **C**), chẳng hạn tại cửa sổ của phòng ở, nhà công cộng....hoặc trong khu vực xây dựng nào đó, theo yêu cầu vệ sinh.

- Xác định khoảng cách cần thiết thỏa mãn yêu cầu giảm nhỏ tiếng ồn.

Để có được số liệu thứ nhất có thể tìm trong tiêu chuẩn vệ sinh (quy hoạch xây dựng), hoặc tổ chức thực đo hoặc sử dụng những công thức trên đây tùy điều kiện cụ thể. Lập sơ đồ tính toán theo quy định, chiều cao nguồn ồn lấy bằng tầm người (1,5m) hoặc lấy bằng chiều cao tầng đầu tiên của nhà nhiều tầng.

Những sơ đồ tính toán có thể chọn (hình 9 - 10).



Hình 9 - 10. Những sơ đồ tính toán thường gặp

Để có được số liệu thứ hai có thể sử dụng những công thức sau:

+ **Đối với nguồn điểm**:

$$\lg.r_n = \frac{L_1 - L_n + K.20.\lg r_1}{K.20}$$

+ **Đối với nguồn đường**:

$$\lg.r_n = \frac{L_1 - L_n + K.20.\lg r_1}{K.10}$$

Trong đó: hệ số **K** lấy giá trị như sau:

Đối với nguồn điểm: **K** = 1,5

Đối với nguồn đường: **K** = 0,75

+ **Đối với nguồn dãy**, sử dụng công thức của nguồn điểm, vì có thể thừa nhận nguồn dãy là tập hợp nhiều nguồn điểm thứ tự từ nguồn điểm nọ đến nguồn điểm kia. Khoảng cách **S** giữa các nguồn điểm và giá trị **K** có quan hệ như (bảng 9 - 3).

Bảng 9 - 3. Giá trị K

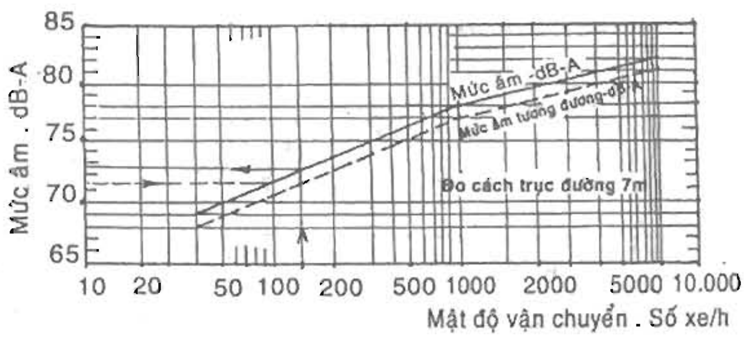
S(mét)	30	40	50	60	70	80	100	140	160	250
K	0,82	0,90	0,96	1	1,05	1,1	1,17	1,25	1,3	1,5

Thí dụ:

Xác định khoảng cách từ đường phố đến mặt nhà ở mở cửa sổ, cho biết:

Lưu lượng xe trên đường phố 150 xe/h, (2 chiều).

Trong dòng xe có 30% xe tải và xe khách. Tốc độ trung bình 40km/h. Theo biểu đồ hình 9 - 11 và sau khi hiệu chỉnh, mức âm $L_7 = L_1$ = 73 dB – A.



Hình 9 - 11. Mức ồn giao thông theo điều kiện chuẩn (hình 9 - 1b)

Giải:

Khoảng cách **S**: $S = 1000\frac{V}{N} = 1000.\frac{40}{150} = 260m$

Theo tiêu chuẩn vệ sinh cho phép, mức ồn trong phòng ở 55 (dB – A), r_1 = 7m ta có:

$$\lg.r_n = \frac{L_1 - L_n + K.20.\lg 7}{K.20} = \frac{73 - 55 + 1,5 \times 20 \times 0,84}{1,5 \times 20} = 1,44$$

Vậy r_n = 27,5m

Trường hợp cần ngăn cách tiếng ồn của các nguồn ồn trong nội bộ khu phố, khu nhà ở ... như tiếng ồn của sân vận động, sân chơi, quảng trường v.v... có thể sử dụng những công thức trên đây đối với nguồn điểm, nhưng đưa thêm vào công thức hệ số K_h kể đến tính chất của nhà ở, tức là:

$$L_n = L_1 - K_h.\Delta L_P$$

Trong đó ΔL_P: độ giảm mức áp suất âm sau khi lan truyền qua không gian tự do.

Giá trị của K_h có thể tìm trong bảng 9 - 4.

Bảng 9 - 4. Hệ số K_h

Tính chất của khu nhà	Số tầng nhà	Khoảng cách giữa các nhà tính theo chiều cao nhà	K_h
- Nhà ở ngoài, gần đường	5 - 6	2	0,85
- Tiếng ồn lan truyền dọc theo khu vực xây dựng	5 - 10	-	0,8
- Nhà ở ngoài gần đường	8 - 10	-	0,75
- Tiếng ồn lan truyền thẳng tới khu vực xây dựng.	5 - 10	-	0,5
- Tự do	5 - 10	-	0,85

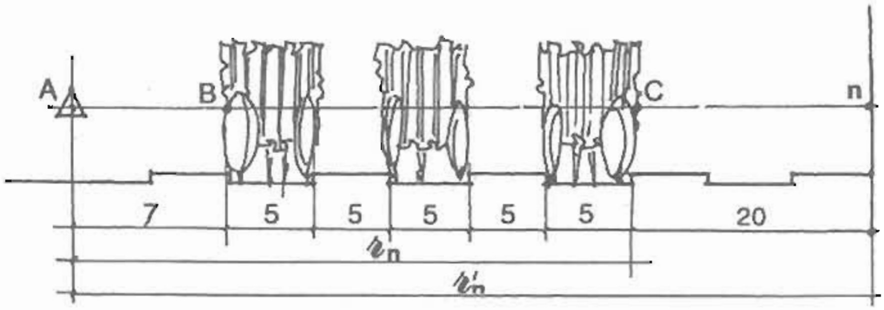
Đối với tiếng ồn của đường sắt (tàu hỏa), thừa nhận K_h = 1, cho nên trong công thức ΔL của các loại nguồn ồn này, không có mặt của K_h như đã trình bày trên đây.

Thí dụ:

Dòng vận chuyển **N** = 1000 xe/h, **V** = 40 km/h, 60% xe tải và xe khách.

Mức âm $L_1 = L_7$ tra từ biểu đồ hình 9 - 11 ≡ hình 9 - 1b bằng 78 dB – A.

Tính ΔL theo sơ đồ quy hoạch đã chọn (Hình 9 – 12).



Hình 9 - 12

Giải:

$$S = 1000\frac{V}{N} = 1000.\frac{40}{1000} = 40m$$

Theo sơ đồ đã chọn ℓ_n = 52m, $\ell_n \geq S/2$ do đó sử dụng công thức:

$$L_c = L_1 - 15.\lg S\ell_n + 33,3 - 1,5Z - \beta.\sum_1^3 B_m$$

$$L_c = 78 - 15.\lg.40.52 + 33,3 - 1,5.3 - 0,3.15 = 52,5 \quad (dB - A)$$

Mức ồn tại cửa sổ nhà ở, khoảng cách ℓ'_n = 52m

$$L_n = 78 - 15.\lg.40.52 + 33,3 - 1,5.3 - 0,3.15$$

$$L_n = 78 - 15.\lg.40.52 + 33,3 - 9 = 52,5 \quad (dB - A)$$

Theo tiêu chuẩn vệ sinh, mức ồn ở ngoài cửa nhà 55(dB – A) như vậy mức ồn tại cửa sổ của phòng ở 52,5 (dB – A) < 55 (dB – A). Trong thí dụ này, độ giảm mức ồn do cây xanh 9dB.

Khoảng cách cần thiết để cách ly tiếng ồn của các sân chơi trong khu ở, khi áp dụng cây xanh, chướng ngại có thể xác định bằng công thức:

$$\lg.\ell_n = \frac{L_1 - L_n + K.K_Z.K_h.20.\lg.\ell_1}{K.K_Z.K_h.20}$$

Thí dụ:

Mức âm cho phép gần nhà ở, L_n = 55 (dB – A). Trước cửa sổ nhà ở nhìn ra sân bóng chuyền trồng một lớp cây xanh dạng hàng rào dày để ngăn cách nguồn ồn của sân bóng chuyền, mức ồn $L_1 = L_7$ = 80 dB – A.

Hàng rào cây dày 10m, K_z = 1,5, K = 1,5 , K_h = 0,85.

Giải:

$$\lg.\ell_n = \frac{L_1 - L_n + K.K_Z.K_h.20.\lg.\ell_1}{K.K_Z.K_h.20} = \frac{80 - 55 + 1,5.1,5.0,85.20.\lg 7}{1,5.1,5.0,85.20} = 1,5$$

Vậy: $\ell_n = 31,7 \approx 32$ (mét)

Nếu ngoài khoảng cách ly và trồng cây để giảm nhỏ tiếng ồn còn áp dụng tường chắn và chướng ngại để ngăn cách tiếng ồn, độ giảm mức ồn sau chướng ngại có thể tính theo phương pháp đề nghị của Rettinger (1957 –1959).

Cơ sở của phương pháp Rettinger xuất phát từ sự giống nhau của sóng âm và ánh sáng lan truyền sau vật chắn không trong suốt, sự giống nhau này do ánh sáng và âm thanh đều có tính chất sóng, sự nhiễu xạ của âm thanh và ánh sáng tuân theo cùng một quy luật.

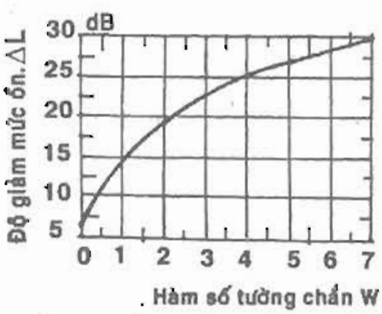
Độ giảm mức áp suất âm ΔL sau tường chắn có thể xác định theo công thức:

$$\Delta L = f(W) = f\left(\frac{1,414}{\sqrt{\lambda}} h \sqrt{\frac{a+b}{ab}}\right)$$

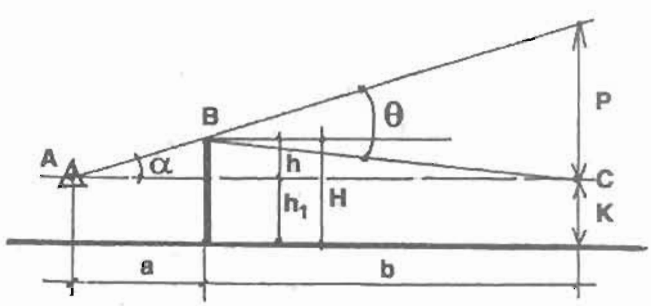
Quan hệ này có thể biểu thị bằng biểu đồ hình 9 – 13.

Trong đó: **W** - hàm số của tường chắn

λ - Chiều dài bước sóng của sóng âm tới (m). Các ký hiệu khác xem hình 9 - 13.



Độ giảm mức ồn với hàm số tường chắn W (Rettinger)



Hình 9 - 13. Biểu đồ Rettinger - Độ giảm mức ồn với hàm số tường chắn W

Điều kiện của phương pháp λ < **a**, **b** và **P** < **a** + **b**. Đồng thời điểm tính toán và nguồn ồn nằm trên cùng đường thẳng nằm ngang.

Nếu nguồn ồn và điểm tính toán không cùng trên đường thẳng nằm ngang, hàm số tường chắn **W** bằng:

$$W = \left(H + \frac{b(H - h_1)}{a} - K\right)\sqrt{\frac{2a.\cos\alpha}{\lambda\, b(a + b)}}$$

Nếu tường chắn là bậc taluy, đường thấp so với mặt đất khu xây dựng (hình 9 - 14).

$$W = \left(\frac{bh}{a} - K\right)\sqrt{\frac{2a.\cos\alpha}{\lambda b(a + b)}}$$

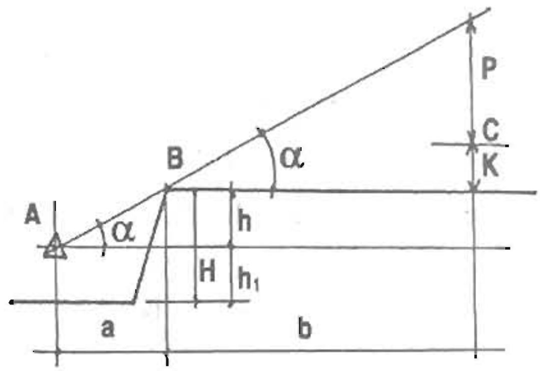
- *Thí dụ:*

Nguồn ồn của dòng vận chuyển (hình 9 - 15), cho biết:

a = 12m; **b** = 50m; **h** = 4,6m; h_1 = 0,4m; $\alpha = 21^0$

Đối với tầng nhà đầu tiên **K** = 1,5m, tính độ giảm mức ồn (dB – A) từ dòng vận chuyển **N** = 1000 xe/h, hai chiều, **V** = 40 km/h, 60% xe tải và xe khách.

Tính với dải ốcta có tần số trung bình 500 Hz, λ = 0,68m.



Hình 9 - 14

Giải:

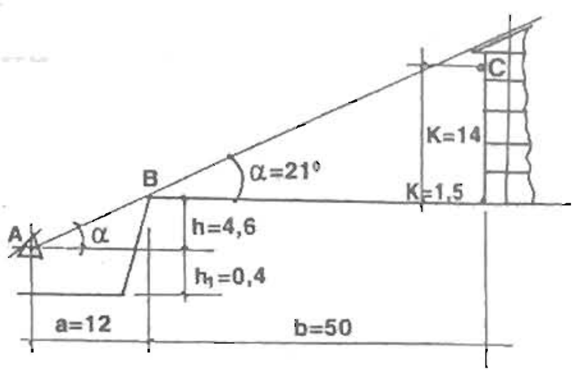
$$W = \left(\frac{bh}{a} - K\right)\sqrt{\frac{2a.\cos\alpha}{\lambda b(a+b)}} = \left(\frac{4,6.50}{12} - 1,5\right)\sqrt{\frac{2.12.\cos 21^0}{0,68.50(12+50)}} = 1,8$$

Biểu đồ hình 9 - 13: ΔL = 18 (dB) vì là dòng vận chuyển nên mức áp suất âm (dB) tương đương với mức âm (dB – A) của chính nó.

Như vậy, độ giảm mức ồn do tường chắn tạo nên.

$$\Delta L_{tc} = 18\ (dB - A)$$

Độ giảm mức ồn do khoảng cách ΔL_{kc} xác định, với **V** = 40 km/h, **N** = 1000 xe/h, 60% xe tải và xe khách.



Hình 9 - 15

$$S = 1000\frac{V}{N} = 1000.\frac{40}{1000} = 40m$$

Nguồn dãy, khoảng trống cách ly tự nhiên.

Tra biểu đồ hình 9 - 1b với **N** = 1000 xe/h, L_7 = 78 (dB – A)

với ℓ_n = **a** + **b** = 12 + 50 = 62m > **S/2**, do đó:

$$\Delta L_{kc} = L_7 - L_n = 15.lgS\ell_n - 33,3 = 15.lg40.62 - 33,3 = 18 \quad (dB)$$

Toàn bộ độ giảm mức ồn bằng:

$$\Delta L = \Delta L_{tc} + \Delta L_{kc} = 18 + 18 = 36 \quad (dB - A)$$

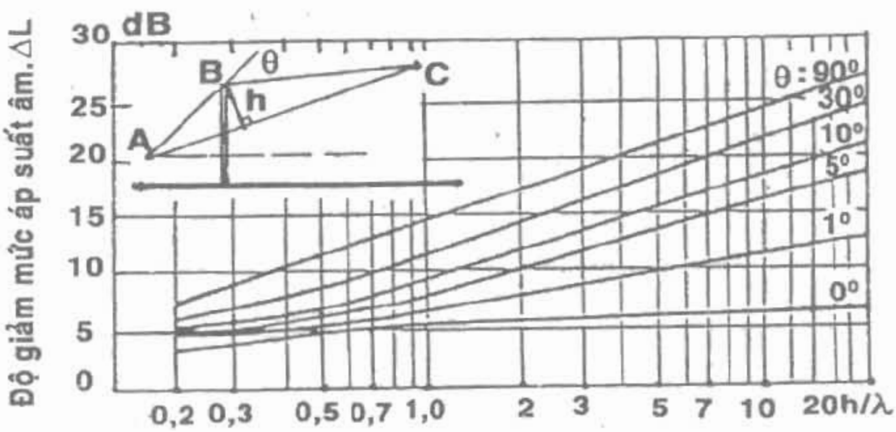
Như vậy mức ồn gần nhà L_n = 78 – 36 = 42 (dB – A) < 55 (dB – A). Tính độ giảm mức ồn tại cửa sổ tầng 5, **K** = 14 m

Tính toán tương tự như trên ta có:

$$\Delta L_{tc} = 10,5 \quad (dB - A)$$

$$\Delta L_{kc} = 18 \quad (dB - A)$$

$$\Delta L = \Delta L_{tc} + \Delta L_{kc} = 28,5 \quad (dB - A)$$



Hình 9 - 16. Biểu đồ Hariss
Độ giảm mức áp suất âm sau tường chắn (hình 9 - 9b)

Như vậy, ngoài cửa sổ tầng 5, mức ồn bằng 78 – 28,5 = 49,5 (dB – A) < 55 (dB – A).

Tính độ giảm mức áp suất âm (dB) sau tường chắn có thể thực hiện theo biểu đồ Hariss (1957) (hình 9 - 9b) ≡ (hình 9 - 16).

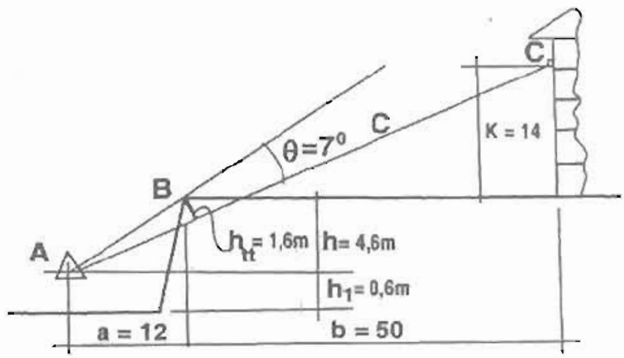
Độ giảm mức áp suất âm sau tường chắn phụ thuộc vào góc θ của bóng âm, chiều dài bước sóng λ và chiều cao thực tế **h** của tường chắn.

Thí dụ:

- Sơ đồ quy hoạch (hình 9 - 17).

Điều kiện giống thí dụ trên.

- Tính độ giảm mức ồn tương đương (dB – A) sau tường chắn, tần số 500 Hz, (λ =0,68 mét). Nguồn ồn giao thông.



Hình 9 - 17

Giải:

Xác định tỷ số:

$h/\lambda = h_{tt}/\lambda = 1{,}6/0{,}68 = 2{,}4$

Biểu đồ hình 9 - 16 với góc θ = 7°:

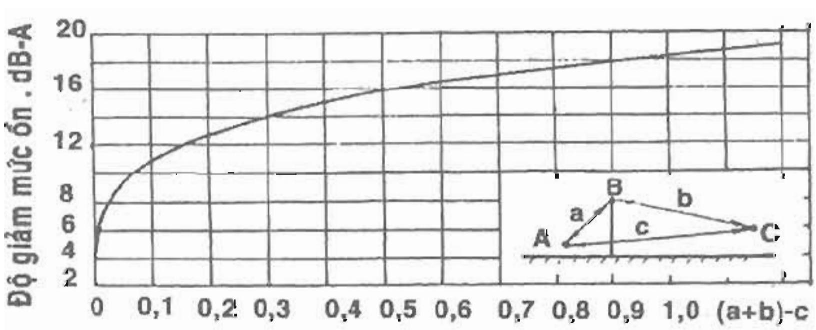
$$\Delta L_{500} = 12 \text{ (dB)}$$

Mức ồn trước tường chắn L_B = 78 (dB – A), trong vùng bóng âm, mức ồn ngoài cửa tại **C** trên tầng 5:

$$L_C = L_B - \Delta L_{500} = 78 - 12 = 66 \quad \text{(dB – A)}$$

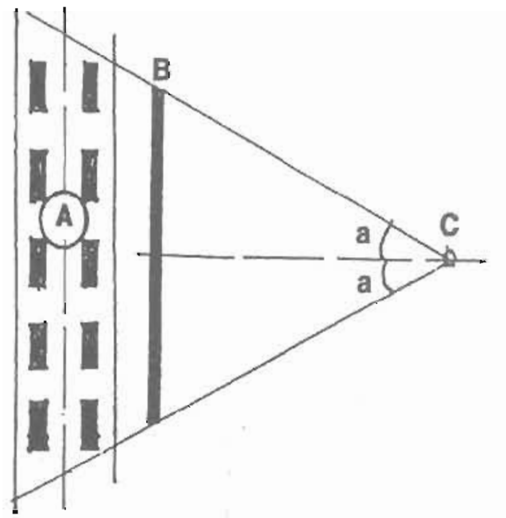
Độ giảm mức ồn sau tường chắn phụ thuộc vào hiệu số đường đi của sóng âm với đường thẳng nối từ nguồn ồn tới điểm tính toán **C**, tức là phụ thuộc vào giá trị [(**a** + **b**) – **C**] và ΔL = *f*[(**a** + **b**) – **C**].

Mối quan hệ này biểu diễn bằng biểu đồ (khi tường chắn rất dài) (hình 9 - 18).



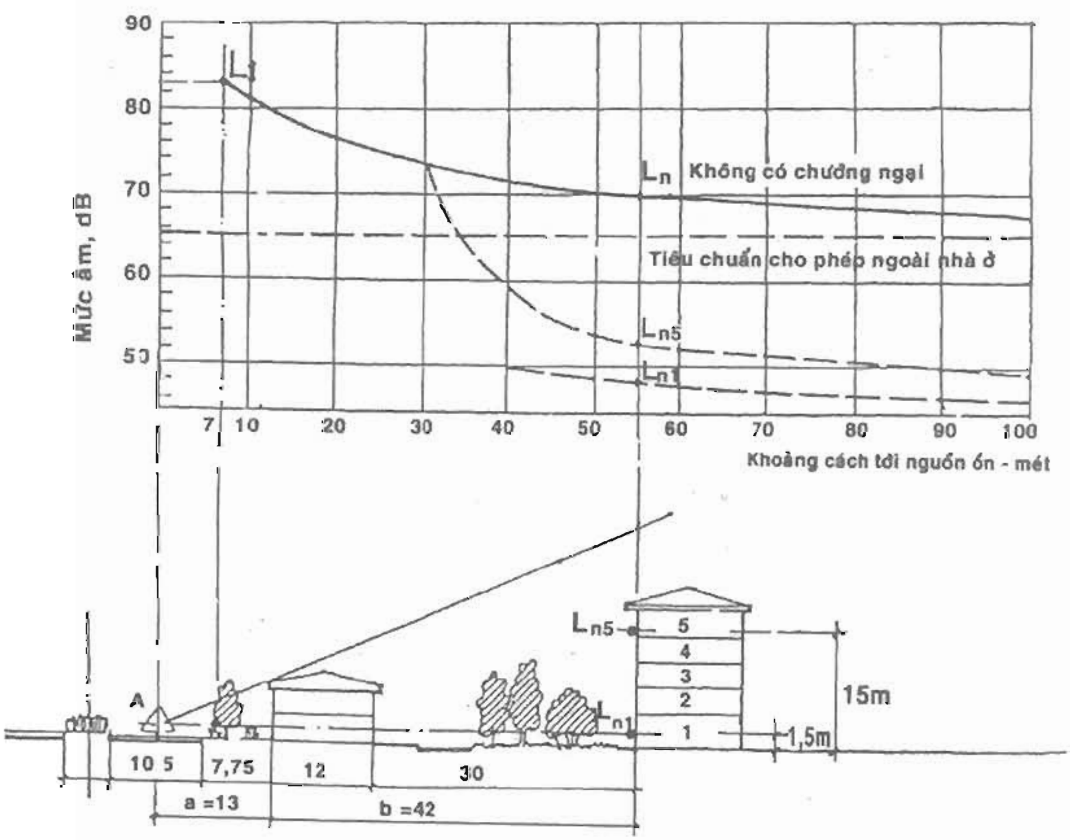
Hình 9 – 18. Độ giảm mức ồn sau tường chắn dài
ΔL = *f*[(a + b) – C]

Khi tường chắn ngắn, từ một chỗ nào đó trên dòng vận chuyển có thể nhìn thấy điểm tính toán (hay từ nguồn ồn nói chung nhìn thấy điểm tính toán), tác dụng ngăn cách tiếng ồn của tường chắn sẽ giảm, hiệu quả giảm ồn phụ thuộc vào góc **2a** tạo bởi điểm tính toán **C** với hai biên của tường chắn. Góc **a** càng lớn, độ giảm mức ồn càng tăng. Nói chung khi góc **a** $\geq 45^0$, từ **C** không nhìn thấy nguồn ồn mới có tác dụng (hình 9 - 19).



Hình 9 - 19. Điều kiện cách ly nguồn

Khi công trình kiến trúc che cản (hình 9 - 20). Độ giảm mức ồn sau công trình trong vùng bóng âm, cũng xác định tương tự như thí dụ trước.

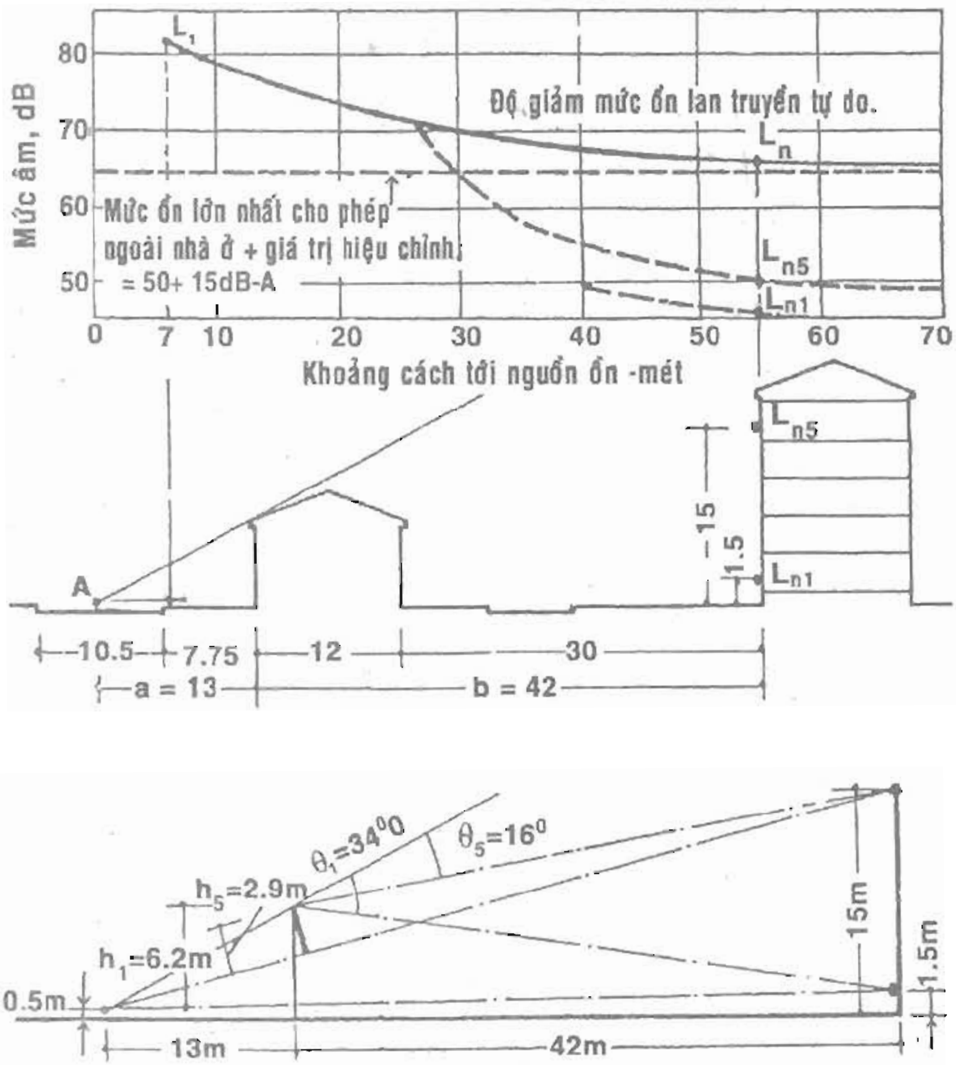


Hình 9 - 20. Độ giảm mức ồn sau công trình che cản

Ngoài cửa sổ của tầng 5, độ giảm mức ồn càng nhỏ so với các tầng thấp. Độ giảm mức ồn ở tầng 1 nhiều hơn ở tầng 5 khoảng 4 – 5 dB.

Thí dụ: Công trình kiến trúc che cản đường lan truyền tiếng ồn giao thông, sơ đồ (hình 9 - 21).

Xác định độ giảm mức ồn che cản của công trình.

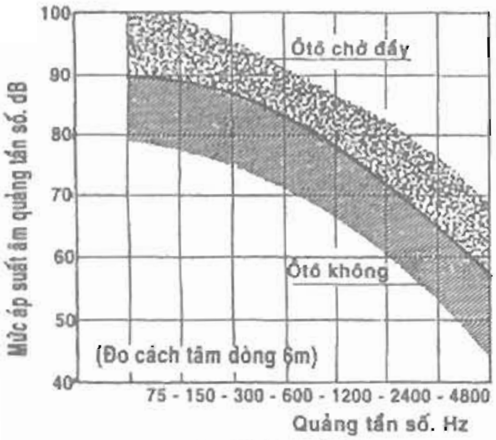


Sơ đồ tính toán thiết lập theo biểu đồ Hariss

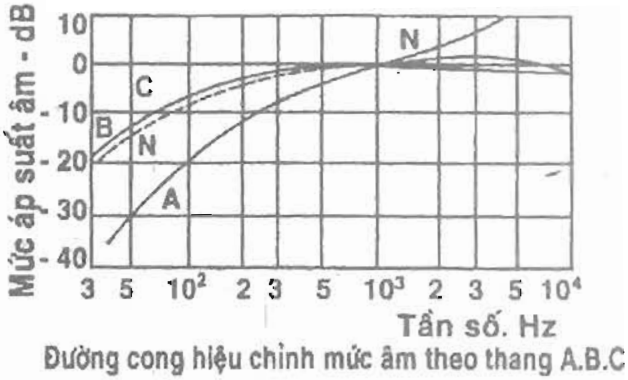
Hình 9 - 21. Sơ đồ tính toán thiết lập theo biểu đồ Hariss

Giải:

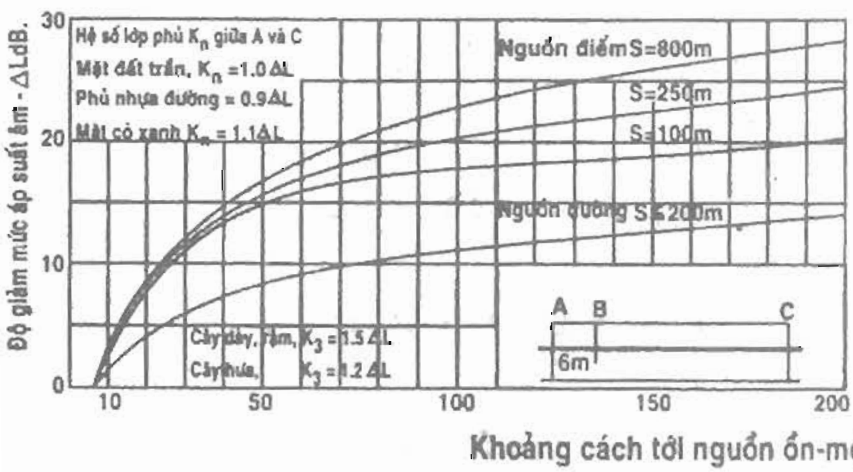
1. Những biểu đồ sử dụng để tính toán:



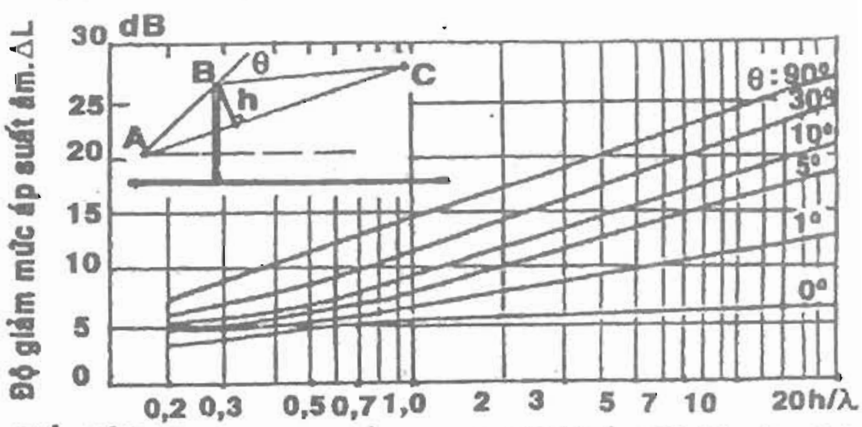
1. Mức ồn đường phố



2. Mức âm cảm giác N



3. Độ giảm mức ồn giao thông lan truyền qua không gian cách ly



4. Tác dụng giảm nhỏ tiếng ồn của tường chắn tạo vùng bóng âm

2. Xác định mức ồn tính toán.

Thống kê thành bảng tổng hợp.

- Biểu đồ mức ồn đường phố (hình 1): Mức ồn ốcta đo cách tâm dòng 6m (L_1, dB – C), liệt kê trong cột 2.

- Chuyển đổi mức ồn thang **C** sang thang **A**, dB – A, (hình 2) liệt kê ở cột 3.

- Mức ồn suy giảm do khoảng cách lan truyền ℓ_n, (hình 3).

$$\ell_n = a + b = 13 + 42 = 55m$$

Thừa nhận khoảng cách vận chuyển trung bình **S** = 100m, độ giảm mức áp suất ΔL_{55} = 15 dB.

- Mức ồn cách nguồn ℓ_n = 55m, tương ứng với tần số tính toán: $L'_n = L_1 - \Delta L_{55}$ ghi trong cột 4

- Theo biểu đồ Hariss (hình 4), thiết lập sơ đồ tính toán theo những số liệu sau:

- Độ giảm mức áp suất âm ở tần số 500Hz: ΔL_{500} :

$$\lambda_{500} = C/f_{500} = 340/500 = 0,68\ m$$

- Tầng 1:

$$h_1/\lambda_{500} = 6,2/0,68 = 9 \rightarrow \theta_1 = 34^0$$

- Tầng 5:

$$h_5/\lambda_{500} = 2,9/0,68 = 4,3 \rightarrow \theta_5 = 16^0$$

- Biểu đồ Hariss (hình 4) tìm được:

Độ giảm mức ồn ngoài cửa tầng 1: ΔL_1 = 22dB

Độ giảm mức ồn ngoài cửa tầng 5: ΔL_5 = 17dB

- Bằng phương pháp tương tự, xác định độ giảm mức ồn (ΔL) ở các tần số 125, 250, 1000 Hz, liệt kê trong cột 5.

- Cột 6: Ghi mức ồn ngoài cửa tầng 1 (L_{n1}, dB – A) – sau khi trừ các loại độ giảm (ΔL_{55}, ΔL trong vùng bóng âm).

- Theo tác dụng chồng chất nhiều nguồn âm, tổng cộng mức ồn ngoài cửa tầng 1: L_{n1} = 46 (dB – A) – cách nguồn ℓ_n = 55 m.

- Bằng phương pháp tương tự, xác định mức ồn ngoài cửa tầng 5: L_{n5} = 51 dB.

Tần số tính toán (Hz)	Mức ồn tính toán cách nguồn 6m: L_1 biểu đồ (1) và (2)		Mức ồn cách nguồn 55m, biểu đồ (3) $L'_n = L_1 - \Delta L_{55}$ (dB – A)	Độ giảm mức ồn, tới ngoài cửa tầng 1, biểu đồ (4) ΔL_1 (dB – A)	Mức ồn tính toán ngoài cửa tầng 1: L_{n1} (dB – A)
	(dB – C)	(dB – A)			
63	86,6	60	45	12,5	32,5
125	84,5	68,5	53,5	15	38,5
250	82,5	73,5	58,5	18	40,5
500	80,5	77,5	62,5	22	40,5
1000	77,0	77,0	62	24,5	37,5
Tổng cộng mức ồn tính toán ngoài cửa tầng 1: L_{n1} = 46 (dB – A)					

Chương 10

LAN TRUYỀN TIẾNG ỒN TRONG CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC VÀ NGUYÊN TẮC XỬ LÝ

I. PHƯƠNG THỨC LAN TRUYỀN ÂM QUA KẾT CẤU NGĂN CÁCH

Giả sử hai phòng, mặt cắt (hình 10 - 1). Phòng I gây ồn, trong đó đặt nguồn ồn (máy quạt, máy may ...). Tiếng ồn truyền sang phòng II theo những phương thức như sau:

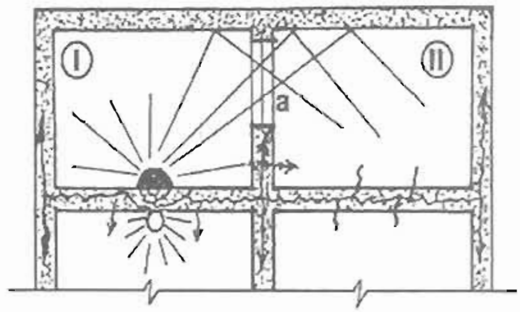
1. Lan truyền âm không khí

Có 2 phương thức:

- **Lan truyền âm trực tiếp**:

Tiếng ồn truyền sang phòng II qua lỗ trống **a** trên kết cấu ngăn cách.

- **Lan truyền âm dao động**:



Hình 10 - 1

Sóng âm từ nguồn, bức xạ vào không khí, tới kết cấu ngăn cách, kích thích kết cấu dao động uốn cong. Như vậy kết cấu ngăn cách trở thành nguồn âm mới, bức xạ vào phòng II những sóng âm có tần số xấp xỉ tần số uốn cong.

2. Lan truyền âm va chạm

Những rung động của nguồn biến thành những chấn động lan truyền trong kết cấu và bức xạ vào phòng II.

Đối với tiếng ồn lan truyền trực tiếp qua khe hở, qua lỗ trống trên kết cấu, biện pháp ngăn cách duy nhất, bít kín các khe hở, các lỗ trống.

Hai phương thức lan truyền âm dao động và va chạm phụ thuộc nhiều yếu tố và cũng có nhiều cách xử lý khác nhau, chúng ta sẽ nghiên cứu sau.

Lan truyền âm dao động xảy ra dưới tác dụng của sóng âm tới cưỡng bức kết cấu dao động theo tần số kích thích. Khả năng dao động của kết cấu phụ thuộc vào độ cứng, khối lượng bề mặt, phương thức liên kết của kết cấu ...

Lan truyền âm va chạm xảy ra khi trên kết cấu có vật rung động hoặc vật rắn va chạm vào kết cấu. Kết cấu càng đặc chắc, càng cứng, khả năng lan truyền âm va chạm càng mạnh.

Khả năng ngăn cách tiếng ồn của kết cấu không giống nhau đối với âm tần số khác nhau. Quy định khả năng cách âm của kết cấu trong phạm vi 6 ốcta, với 6 tần số trung bình (bảng 10 - 1).

Năm ốcta của tần số trung bình từ 100 – 3200Hz, chia thành 15 dải 1/3 ốcta với 16 tần số trung bình 100 – 125 – 160 – 200 – 250 – 320 – 400 – 500 – 640 – 800 – 1000 – 1250 – 1600 – 2000 – 2500 – 3200 Hz.

Bảng 10 - 1. Sáu quãng tần số yêu cầu cách âm

Quãng tần số	75 - 150	150 - 300	300 - 500	600 - 1200	1200 - 2400	2400 - 4800
Tần số trung bình (Hz)	100	200	400	800	1600	3200
15 dải 1/3 ốcta	125 160	250 320	500 640	1000 1250	2000 2500	
	100	200	400	800	1600	3200

II. KHẢ NĂNG (HAY LƯỢNG) CÁCH ÂM KHÔNG KHÍ CỦA KẾT CẤU

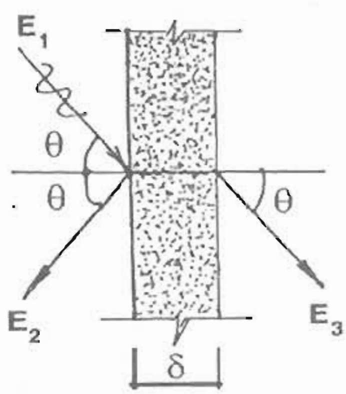
Khi sóng âm tới trên kết cấu lớn vô hạn sẽ cưỡng bức kết cấu dao động, đồng thời có một bộ phận năng lượng âm từ bề mặt của kết cấu phản xạ trở lại vào không khí, một bộ phận xuyên qua kết cấu tiếp tục lan truyền đi (hình 10 - 2).

Giả sử sóng âm tới dưới góc θ năng lượng E_1, sóng âm xuyên qua kết cấu cũng dưới góc θ, năng lượng âm E_3.

Hệ số xuyên âm: $\tau_q = \dfrac{E_3}{E_1}$ đặc trưng khả năng xuyên âm của kết cấu.

Khả năng cách âm (lượng cách âm) R_θ của kết cấu:

$$R_\theta = 10.\lg\frac{1}{\tau_\theta} \quad \text{(dB)}$$



Hình 10 - 2. Sóng âm tới trên kết cấu có diện tích bề mặt >> δ của nó

Thực tế, tới trên kết cấu ngăn cách không những chỉ có sóng âm trực tiếp tới từ nguồn mà còn có sóng âm phản xạ tới từ các bề mặt giới hạn của phòng. Vì vậy thường dùng hệ số xuyên âm τ trong trường âm khuếch tán, lấy giá trị xuyên âm trung bình với mọi góc tới từ 0^0 – 90^0.

$$\tau = \frac{E_{xq}}{E_d}$$

Trong đó E_{xq} và E_d – năng lượng âm xuyên qua và năng lượng âm tới khuếch tán trên kết cấu. Lượng cách âm **R** của kết cấu tương ứng bằng:

$$R = 10.\lg\frac{1}{\tau} = 10.\lg\frac{E_d}{E_{xq}} \quad \text{(dB)}$$

Lượng cách âm **R** của kết cấu phụ thuộc tính chất vật lý của kết cấu, vật liệu và giải pháp cấu tạo, phụ thuộc cường độ, tần số và phương tới của sóng âm, phụ thuộc kích thước và lượng hút âm trong không gian ở hai phía của kết cấu.

Thông thường khả năng cách âm của kết cấu đối với âm cao tần tốt hơn đối với âm thấp tần. Tần số tăng gấp đôi, lượng cách âm của kết cấu tăng 4 đến 6 dB. Cho nên thí nghiệm xác định lượng cách âm của kết cấu với một số tần số đặc trưng trong toàn bộ phạm vi tần số yêu cầu cách âm, và gọi là lượng cách âm trung bình của một số tần số.

Giá trị của hệ số τ xác định bằng thực nghiệm thường nhỏ hơn xác định bằng tính toán lý thuyết, nguyên nhân do khi tính toán lý thuyết, năng lượng âm tới trong phạm vi từ 0^0 – 90^0, thực tế, năng lượng âm của những tia tới dưới góc θ lớn sẽ trượt trên mặt kết cấu, không có tác dụng kích thích kết cấu dao động.

Nếu kết cấu ngăn cách gồm nhiều bộ phận khác nhau (tường có cửa sổ, cửa đi ...). Những bộ phận này có diện tích S_1, S_2, S_3, ... hệ số xuyên âm tương ứng τ_1, τ_2, τ_3, .. hệ số xuyên âm của kết cấu hỗn hợp tính bằng hệ số xuyên âm trung bình $\bar{\tau}$:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\tau_i.S_i}{\sum_{i=1}^{n}S_i} = \frac{T}{S}$$

Trong đó: $\sum_{i=1}^{n}\tau_i.S_i = T = S_1.\tau_1 + S_2.\tau_2 + S_3.\tau_3 + ... + S_n.\tau_n$

$S = S_1 + S_2 + S_3 + ...S_n$ - Tổng diện tích bề mặt kết cấu, m^2 và lượng cách âm không khí của kết cấu hỗn hợp (R_{hh}) bằng:

$$R_{hh} = 10.\lg\frac{1}{\bar{\tau}} \quad \text{dB}$$

Như vậy việc xác định giá trị hệ số τ gắn liền với việc sử dụng chính xác những dụng cụ đo lường năng lượng âm ở hai phía của kết cấu.

III .NGUYÊN TẮC XỬ LÝ GIẢM NHỎ TIẾNG ỒN TRONG CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC

1. Lựa chọn địa điểm xây dựng hợp lý

Lựa chọn địa điểm xây dựng hợp lý, đảm bảo môi trường yên tĩnh sẽ giảm nhẹ rất nhiều yêu cầu xử lý chống ồn, đem lại hiệu quả kinh tế trong đầu tư xây dựng , góp phần nâng cao chất lượng sử dụng công trình.

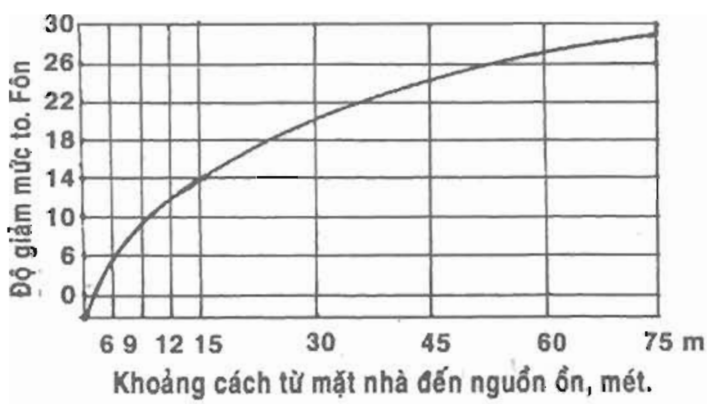
Lựa chọn địa điểm xây dựng bao gồm những nội dung sau:

- Tương quan giữa địa điểm xây dựng với xí nghiệp công nghiệp lớn, với sân bay, đường xe lửa, ga tàu lửa nổi và ngầm, xa lộ mật độ vận chuyển lớn.

- Những trục đường lớn trong đô thị, trung tâm hoạt động công cộng, khu thương nghiệp mua bán tấp nập ..., ngoài tiếng ồn không khí còn có tiếng ồn va chạm, rung động nền móng lan truyền vào công trình.

2. Định vị tổng mặt bằng hợp lý, bao gồm những nội dung sau

Đẩy lùi thích đáng vị trí công trình vào trong đường đỏ xây dựng, thông thường lùi mặt đứng công trình xa đường đỏ 20 – 30 mét, tăng khoảng cách tới trục giao thông giảm được mức ồn. Tham khảo hình 10 - 3.



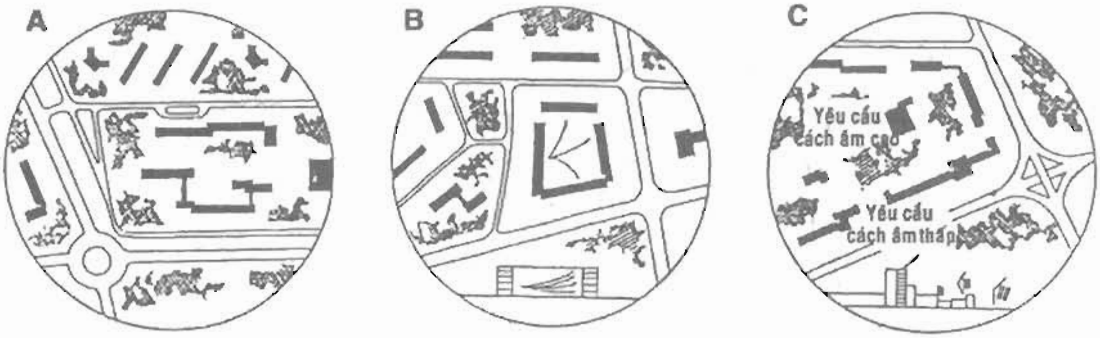
Hình 10 - 3. Mức to giảm theo khoảng cách

- Lục hóa và tường rào bảo vệ giảm mức gây nhiễu của tiếng ồn.

Hai bên trục đường tiếp nhận, ngoài tiếng ồn trực tiếp còn có tiếng ồn phản xạ qua lại nhiều lần giữa hai mặt nhà hai bên đường. Kết quả nghiên cứu chỉ rõ: sóng âm phản xạ qua

lại nhiều lần, 74% năng lượng phản xạ khuếch tán trong vòm lá dày đặc của cây xanh, 26% còn lại tổn thất (hấp thu) trong vòm lá.

Hiệu quả hút âm của cây xanh phụ thuộc vào độ cao, mật độ cây xanh. Cây thấp, vòm lá dày đặc hút âm tốt hơn cây cao, vòm lá thưa, trồng theo hàng theo dãy.



Hình 10 - 4. Định vị (quy hoạch) tổng mặt bằng hợp lý

A. Định vị công trình cách xa thích đáng trục giao thông, sử dụng cây xanh, thảm cỏ, tường rào, giảm nhỏ tiếng ồn.

B. Tránh bố trí công trình khép kín theo chu vi và dàn trải công trình theo trục giao thông để tránh tiếng ồn gây nhiễu lẫn nhau.

C. Định vị công trình yêu cầu yên tĩnh cao cách xa trục giao thông, bên trong những kiến trúc yêu cầu cách ồn thấp hơn.

3. Tổ hợp không gian chức năng hợp lý

Trong một công trình, các không gian chức năng ồn ào và yên tĩnh khác nhau. Tổ hợp các không gian này không hợp lý sẽ gây nhiễu lẫn nhau, không những không đảm bảo chất lượng sử dụng mà còn phải xử lý cách âm tốn kém, yêu cầu này đặt trong trách nhiệm của kiến trúc sư thiết kế công trình.

Cửa đi, cửa sổ là hai bộ phận có khả năng cách âm khá mong manh của kết cấu bao che và phân cách, khi thiết kế không thể thiếu sự quan tâm đối với bộ phận này.

IV. XỬ LÝ HÚT ÂM GIẢM NHỎ TIẾNG ỒN

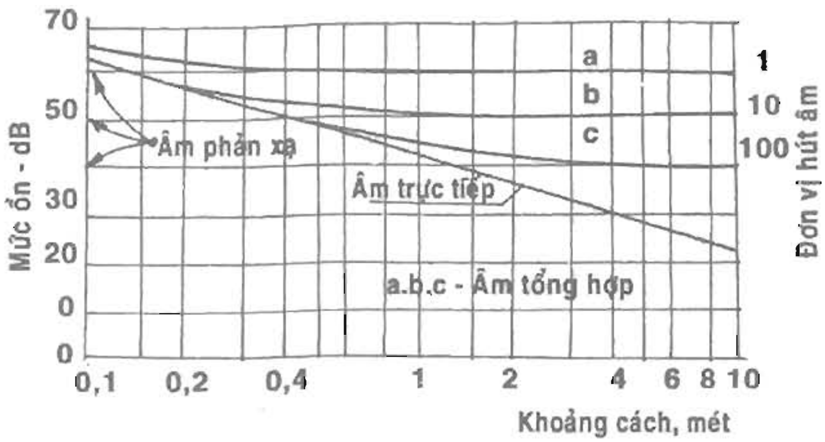
1. Trong phòng

Xử lý hút âm rút ngắn thời gian âm vang, giảm nhỏ tiếng ồn. Kết quả này từ hai tác dụng:

- Thứ nhất: trong phòng thời gian âm vang dài, âm vang của tiếng ồn đầu tiên xâm nhập vào phòng chồng chất với tiếng ồn xâm nhập theo sau, năng lượng của tiếng ồn tăng lên.

- Thứ hai: âm vang của lời nói hoặc tiếng hát trước là phông ồn của lời nói hoặc tiếng hát sau, sẽ kéo dài tiếng ồn trong phòng.

Như vậy, xử lý hút âm rút ngắn thời gian âm vang sẽ giảm nhỏ mức ồn trong phòng (hình 10 - 5).



Hình 10 - 5 . Xử lý hút âm giảm nhỏ tiếng ồn

2. Tiêu âm tại nguồn

Chụp hút âm là thiết bị xử lý hút âm tại nguồn trong phòng gây ồn ... vì rằng tường, trần, nền chưa xử lý tiêu âm, năng lượng âm phản xạ qua lại và lan truyền rất xa, ở cuối hành lang, vẫn nghe tiếng ồn rất lớn truyền tới.

Hình 10 - 5 cho thấy quan hệ giữa âm trực tiếp, âm phản xạ, cường độ âm tổng hợp với lượng hút âm và khoảng cách đến nguồn. Khi đơn vị hút âm **A = 1**, tại vị trí cách nguồn 0,15m, âm phản xạ lớn hơn âm trực tiếp. Khi **A = 100**, cách nguồn 1,5m, âm phản xạ mới bắt đầu lớn hơn âm trực tiếp. Như vậy sau khi xử lý hút âm, hiệu quả sẽ rất tốt.

Hình 10 - 5 còn cho thấy: khi trong hành lang, **A = 10**, cách nguồn 1m trở lên, mức ồn 50dB, suy giảm rất ít. Khi **A = 100**, cách nguồn 4m, mức ồn 40 dB.

3. Phân bố vật liệu hút âm

Lượng hút âm cần thiết để giảm nhỏ tiếng ồn, xác định bằng tính toán, trên cơ sở bảo đảm thời gian âm vang tối ưu theo mục đích sử dụng của phòng. Những phòng không yêu cầu chất lượng âm, có thể xử lý hút âm cao để giảm nhỏ tiếng ồn.

Chúng ta đều biết, mật độ năng lượng âm ở trạng thái ổn định $\overline{E}_6$ bằng:

$$\overline{E}_{ô} = \frac{4W}{CA}$$

Trong đó: **W** - công suất âm của nguồn, Watt

C - vận tốc âm, m/s

A - Tổng lượng hút âm trong phòng, (m^2) – Xác định bằng thời gian âm vang của Sabin

Như vậy, $\overline{E}_{ô}$ tỷ lệ nghịch với **A**, tăng **A** sẽ giảm $\overline{E}_{ô}$.

Lượng giảm mức ồn Δ**L** bằng:

$$\Delta L = 10.\lg\frac{A'}{A} \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: **A'**, **A** - tổng lượng hút âm sau và trước khi xử lý

$$A = S.\overline{\alpha}; \quad A' = S.\overline{\alpha}'$$

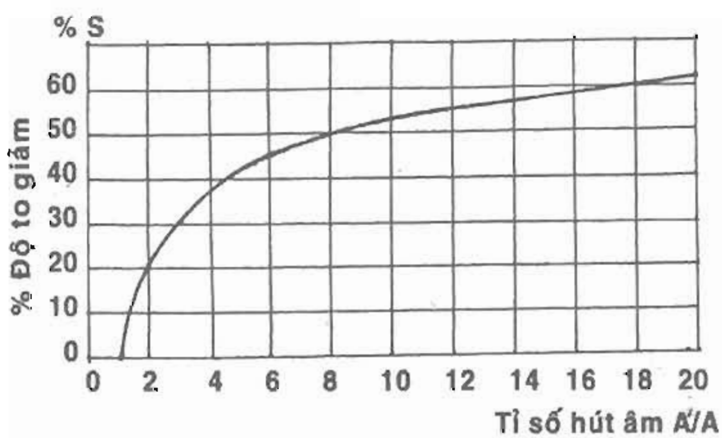
$\overline{\alpha}'.\overline{\alpha}$ - hệ số hút âm trung bình sau và trước khi xử lý.

S - tổng diện tích các bề mặt trong phòng, m^2.

Lượng giảm mức ồn (ΔL) tính bằng dB không hợp lý, bởi vì không xét tới đặc tính tần số của tiếng ồn, đặc điểm sinh lý của thính giác.

Thường sử dụng số % mức giảm độ to để đánh giá độ giảm mức ồn, trên cơ sở thừa nhận tỷ lệ phòng, giải pháp phân bố vật liệu hút âm bảo đảm trường âm phản xạ đồng đều trong phòng, xây dựng biểu đồ quan hệ (hình 10 - 6).

Thí dụ của Sabin



Hình 10 - 6. Xử lý hút âm trong phòng ảnh hưởng độ to tiếng ồn

Văn phòng: Cao x Rộng x Dài = 3 x 6 x 15m. Bề mặt giới hạn trong phòng hoàn toàn phản xạ âm. Trong phòng bố trí một số bàn ghế và trang thiết bị.

Tổng lượng hút âm **A** trước khi xử lý ghi trong (bảng 10 - 2).

Bảng 10 - 2

Bề mặt phản xạ	Diện tích	Hệ số hút âm	Lượng hút âm
Sàn nhà - Vải bọc	$90m^2$	$\alpha = 0,03$	$A_1 = 2,7m^2$
Trần nhà - Vữa Ciment	$90m^2$	$\alpha = 0,03$	$A_2 = 2,7m^2$
Tường - Vữa Ciment	$126m^2$	$\alpha = 0,03$	$A_3 = 3,78m^2$
Bàn làm việc	15 cái	$\alpha = 0,1$	$A_4 = 1,5m^2$
Trang thiết bị khác	15 cái	$\alpha = 0,02$	$A_5 = 0,3m^2$
			$A_6 = 0,5m^2$
			$A = 11,48m^2$

Toàn bộ trần xử lý bằng tấm bã mía ép đóng trên sườn gỗ:

Tần số (Hz)	256	512	1024	2048
α	0,45	0,79	0,89	0,61

$\overline{\alpha} = 0,7.$

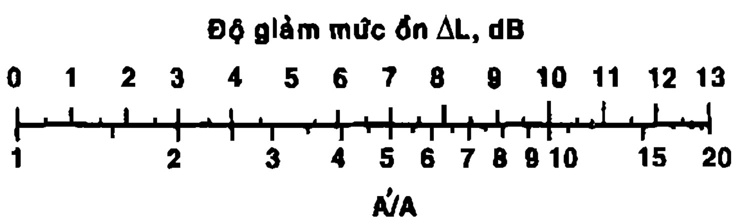
Lượng hút âm của trần sau khi xử lý:

$$A_2' = 90 \times 0,7 - 2,7 = 63 - 2,7 = 60,3m^2$$

Tổng lượng hút âm sau xử lý:

$$A' = \left(A_1 + A_2' + A_3 + A_4 + A_5 + A_6\right) = 11,48 + 60,3 = 71,78m^2$$

$$A'/A = 71,78/11,48 = 6,3$$



Hình 10 - 7. Tỷ số A'/A và độ giảm mức ồn

Từ biểu đồ (hình 10 - 6) tìm được suất giảm độ to của tiếng ồn 46%.

Xử lý hút âm giảm nhỏ tiếng ồn cũng chỉ trong giới hạn nhất định, thể hiện ở toán đồ (hình 10 - 7).

Toán đồ cho thấy, khi **A'/A > 10**, độ giảm **ΔL** tăng rất chậm.

A'/A = 3 ÷ 10 hiệu quả rất cao về độ giảm mức ồn và cả hiệu quả kinh tế.

Để đạt được hiệu quả, nên sử dụng vật liệu hút âm có α = **0,12 ÷ 0,2**, chọn vật liệu có đủ độ bền cơ học và những tính chất vật lý phù hợp, tính trang trí cao.

Trong thực tế thiết kế, khi sử dụng vật liệu hút âm thường quan tâm tới thời gian âm vang và giảm nhỏ tiếng ồn, ít chú ý tới tác dụng cách âm của vật liệu, nhất là cách âm tại nguồn.

V. THIẾT KẾ KẾT CẤU CÁCH ÂM

Cách âm không khí và cách âm va chạm.

Tường đảm bảo cách âm không khí, sàn vừa đảm bảo cách âm không khí, vừa đảm bảo cách âm va chạm.

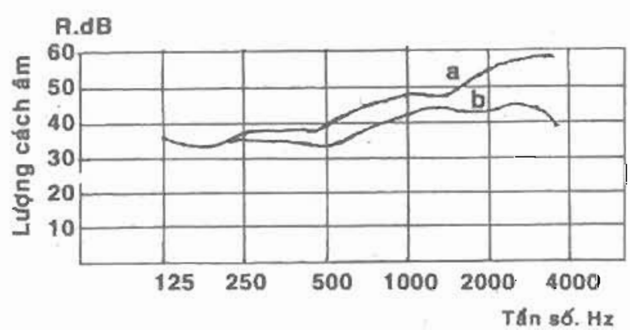
A) Cách âm không khí

Không khí truyền tải năng lượng âm, như đã nói trên đây, có hai phương thức: truyền âm trực tiếp và truyền âm dao động.

1. Truyền âm trực tiếp

Sóng âm trực tiếp truyền qua khe trống, cửa mở ... Lợi dụng môi trường không khí truyền tải tiếng ồn, trong mọi trường hợp và trong mọi loại hình đều gây ảnh hưởng rất lớn.

Thí dụ, một cửa sổ đóng kín, lượng cách âm 30dB. Khi đó, năng lượng âm xuyên qua cửa bằng 0,001. Đóng cửa không kín, còn hở 1% tổng diện tích cửa, khi đó sẽ có 0,01 năng lượng âm xuyên qua, lượng cách âm của cửa giảm 10 dB, chỉ còn 20 dB. Khe hở đem lại tổn thất lượng cách âm của cửa quá lớn (hình 10 - 8).



Hình 10 - 8. Ảnh hưởng của khe hở đối với lượng cách âm của tường
a) Không có khe hở; b) Khe hở 2 cm

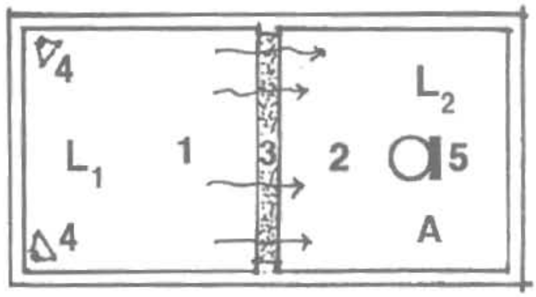
2. Truyền âm dao động

Tiếng ồn không khí lan truyền tới kết cấu phân cách, tác dụng lên bề mặt kết cấu một áp lực, một mặt cưỡng bức kết cấu dao động, mặt khác kích thích các phần tử không khí cận kết cấu dao động, theo đó sóng âm truyền qua kết cấu.

Sóng âm truyền qua mặt cửa sổ, cửa đi, kính, tường, vách chủ yếu theo nguyên lý này.

Trong thực tế, theo phương thức truyền âm dao động, có hai phương pháp xử lý ngăn cách:

- Kết cấu đặc một lớp đồng nhất.
- Kết cấu đặc nhiều lớp không đồng nhất.



Hình 10 - 9. Thực nghiệm xác định R của kết cấu

1- Phòng gây ồn. 2 - Phòng yên tĩnh

3 - Kết cấu cách âm.

4 - Nguồn ồn. 5 - Máy thu

Nếu gọi: L_1 - mức áp suất âm của phòng gây ồn (dB)

L_2 - mức áp suất âm của phòng yên tĩnh

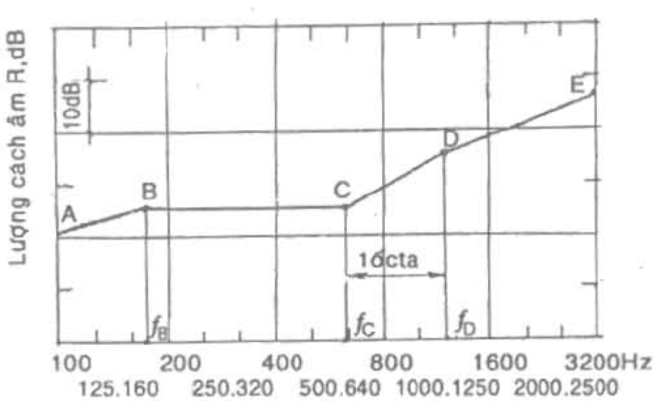
$A = S.\bar{\alpha}$ - lượng hút âm của phòng yên tĩnh 2

S' - diện tích bề mặt kết cấu phân cách 3 (hình 10 - 9).

Khi đó, lượng cách âm thực tế (R_e) của phòng, bằng:

$$R_e = L_1 - L_2 = R + 10\lg(A/S'),\ \text{dB}$$

Tổ chức thực nghiệm xác định lượng cách âm thực tế (R_e) của phòng, $R^{y/c}$ của kết cấu (hình 10 - 9).



Hình 10 - 10. Đường đặc tính tần số cách âm không khí của kết cấu phẳng đồng nhất

- Đặt nguồn âm mạnh trong phòng 1

- Đặt máy thu trong phòng yên tĩnh 2 và phòng ồn 1

- Đặt kết cấu cách âm cần đo **R** vào lỗ cửa giữa hai phòng (liên kết kín).

- Đo và tính giá trị **R** của kết cấu ứng với các tần số yêu cầu cách âm.

- Cuối cùng vẽ biểu đồ quan hệ giữa **R** với tần số (hình 10 - 10). Đường cong quan hệ như vậy gọi là đặc tính tần số cách âm của kết cấu.

3. Khả năng cách âm không khí của kết cấu một lớp đồng nhất

Kết cấu một lớp, kết cấu nhiều lớp, ý nghĩa của cách âm và cách nhiệt không giống nhau.

Trong cách âm, kết cấu một lớp đồng nhất có thể cấu tạo một lớp vật liệu đồng nhất, có thể cấu tạo nhiều lớp không đồng nhất gắn chặt vào nhau, dưới tác dụng của sóng âm, các lớp kết cấu dao động cùng pha

Kết cấu nhiều lớp không đồng nhất, dưới tác dụng của sóng âm, các lớp kết cấu dao động khác pha nhau. Như vậy kết cấu cách âm nhiều lớp, trong chừng mực nhất định, khi dao động, các lớp cấu tạo dao động riêng biệt nhau.

• Những giả thiết để đơn giản tính toán:

Trong thực tế xây dựng, kết cấu phân cách bằng những bản phẳng liên kết khớp theo chu vi, biên của kết cấu không có chuyển vị ngang nhưng quay tự do được.

Thừa nhận kết cấu lớn vô hạn, khối lượng của kết cấu phân bố đều đặn và liên tục trên bề mặt của nó, tạo thành một hệ thống gồm vô hạn những dao động điều hòa tương ứng với vô hạn những tần số dao động riêng.

Thừa nhận sóng âm tới trên kết cấu là sóng phẳng, phương tới vuông góc với mặt kết cấu. Sóng âm xuyên qua kết cấu cũng là sóng phẳng và tự do bức xạ ra không gian.

Những giả thiết nay đảm bảo cho tất cả các bộ phận của kết cấu dao động cùng pha, khi dao động, giữa các bộ phận không xuất hiện nội lực, giả thiết như vậy đơn giản tính toán nhưng kết quả phản ánh khá đúng khả năng cách âm thực tế của kết cấu.

• Tần số dao động riêng của kết cấu

Đối với kết cấu phẳng liên kết khớp theo chu vi tần số dao động riêng của kết cấu có thể xác định bằng công thức

$$f_{mn} = 0,45h.C_1\left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2\right] \quad (Hz)$$

Trong đó: **h** - chiều dày của kết cấu (m)

C_1 - vận tốc sóng dọc trong kết cấu (m/s)

a,b - các cạnh của kết cấu (m)

m,n - những số nguyên đầu tiên (1, 2, 3 ...)

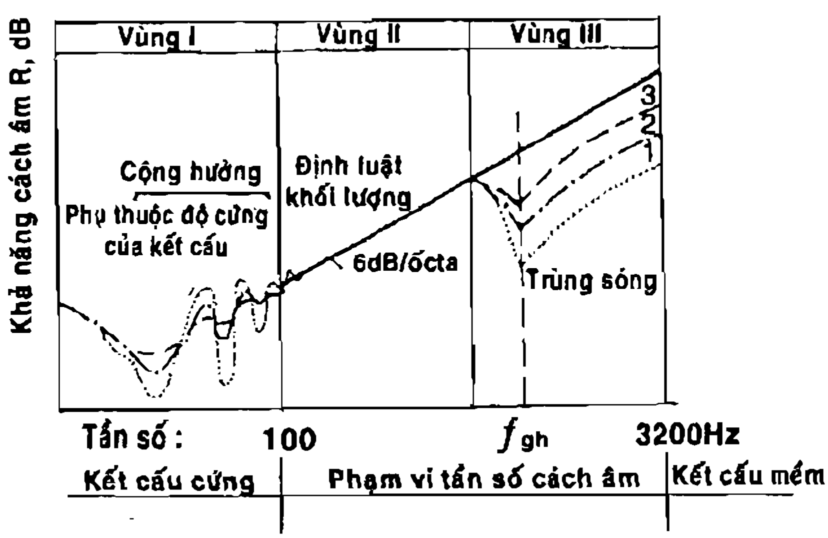
Tương ứng với mỗi nhóm giá trị (**m, n**) cho một tần số cộng hưởng (tần số dao động riêng) của kết cấu. Tần số cộng hưởng thấp nhất ứng với **m = n = 1** gọi là tần số cộng hưởng đầu tiên.

Đặc tính tần số cách âm của kết cấu đồng nhất có thể phân thành 3 vùng (hình 10 - 11).

- Vùng I:

Khi tần số thấp hơn tần số cộng hưởng đầu tiên của kết cấu, khả năng cách âm của kết cấu phụ thuộc vào độ cứng và hiện tượng cộng hưởng của kết cấu.

Trong vùng này, tần số dao động riêng của kết cấu thấp hơn phạm vi tần số tiêu chuẩn cách âm ($f_{m,n}$ < 100 Hz), cho nên bỏ qua không tính toán. Kết cấu đồng nhất sử dụng trong xây dựng hiện nay, tần số dao động riêng, $f_{m,n}$ < 50Hz ở ngoài dải tần số 100 ÷ 3200 Hz.



Hình 10 - 11. Đặc tính tần số cách âm của kết cấu
1) Tắt dần chậm (dao động nhanh); 2) Tắt dần trung bình; 3) Tắt dần nhanh

– Vùng II:

Khi tần số tiếp tục tăng (bằng 2 ÷ 3 lần tần số cộng hưởng đầu tiên), khả năng cách âm của kết cấu phụ thuộc vào khối lương của kết cấu. Kết cấu như một hệ dao động bao gồm

nhiều vô hạn những khối lượng riêng biệt, phân bố liên tục và đều đặn trên bề mặt của kết cấu và dao động độc lập đối với nhau dưới tác dụng của sóng âm. khả năng cách âm của kết cấu, xác định theo định luật khối lượng (Beranek, 1960), bằng:

$$R = 10.\lg\left[1 + \left(\frac{\omega.P}{2.\rho.C}\right)^2\right] - 5 = 20.\lg.P.f - 47,5 \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: $\omega = \frac{\pi}{2}.f$ - tần số góc của dao động âm;

$\pi = 3,1416$ f - tần số của sóng âm (Hz);

P = ρ.**h** - khối lượng bề mặt của kết cấu (kg/m^2);

ρ - khối lượng riêng của kết cấu (kg/m^3);

h - chiều dày của kết cấu (m);

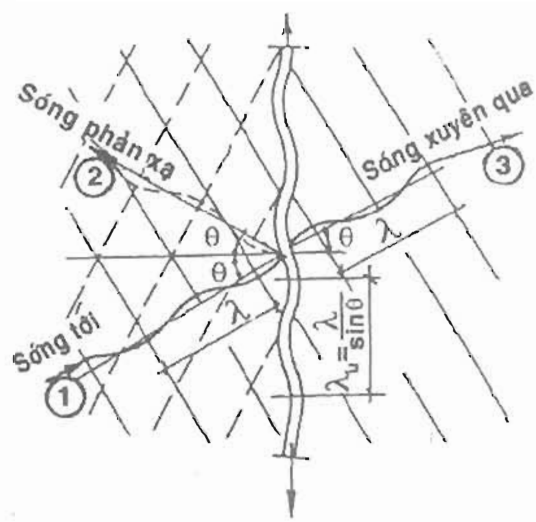
Z = ρ. **C** - sức cản của môi trường không khí;

ρ - khối lượng riêng của không khí (kg/m^3);

C - vận tốc âm trong không khí (m/s).

– **Vùng III:**

Khi tần số lớn hơn 2 ÷ 3 lần tần số cộng hưởng đầu tiên của kết cấu, khả năng cách âm của kết cấu không những phụ thuộc vào khối lượng mà còn phụ thuộc vào độ cứng cấu tạo của kết cấu. Nếu kết cấu dễ uốn, tần số uốn cong xấp xỉ bằng tần số của sóng âm tới sẽ xuất hiện hiện tượng trùng sóng. Khi đó năng lượng âm sẽ xuyên qua kết cấu lớn nhất. Khả năng cách âm của kết cấu phụ thuộc rất lớn vào tác dụng của sự trùng sóng.



Hình 10 - 12. Hiện tượng trùng sóng
1) Sóng tới; 2) Sóng phản xạ; 3) Sóng xuyên qua

• ***Hiện tượng trùng sóng***

Khi sóng âm tới trên kết cấu sẽ truyền cho kết cấu một phần năng lượng, cưỡng bức kết cấu uốn cong, chiều dài bước sóng uốn cong λ'_u. Nếu sóng âm tới dưới góc θ, tần số f, vận tốc sóng **C** và chiều dài bước sóng λ_d:

$$\lambda'_u = \frac{\lambda_đ}{\sin\theta}$$

Nếu chiều dài bước sóng uốn cong cưỡng bức λ'_u xấp xỉ bằng chiều dài uốn cong tự do λ_u của kết cấu sẽ có hiện tượng trùng sóng (hình 10 - 12) khi đó khả năng cách âm của kết cấu giảm đáng kể.

$$\lambda_u = \lambda'_u = \frac{\lambda_đ}{\sin\theta}$$

Vận tốc sóng uốn cong:

$$C_u = C'_u = \frac{C}{\sin\theta}$$

Trong đó:

C'_u - vận tốc truyền sóng uốn cong cưỡng bức của kết cấu.

$$C'_u = \lambda'_u . f$$

Áp suất của sóng âm tới phân bố trên mặt kết cấu phù hợp với biên độ dao động riêng của kết cấu ở tần số uốn cong tương ứng, sẽ kích thích kết cấu dao động mãnh liệt, khi đó nếu không có tổn thất trong kết cấu, hầu hết năng lượng âm tới (1) tương ứng với $\lambda_đ$ sẽ xuyên qua kết cấu (3).

Tần số thấp nhất, bắt đầu từ đó xuất hiện sự trùng sóng trong điều kiện sóng âm tới khuếch tán, gọi là tần số giới hạn f_{gh}:

$$f_{gh} = \frac{C^2}{1{,}8.C_1 h} = \frac{C^2}{1{,}8.h}\sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad \text{(Hz)}$$

Trong đó: **h** - Chiều dày của kết cấu (m);

C - Vận tốc âm trong không khí (m/s);

C_1 - Vận tốc sóng dọc trong kết cấu (m/s);

ρ - Khối lượng riêng của vật liệu (kg/m^3);

E - Mô đuyn đàn hồi, kg/m^2.

Trong phạm vi 1 ốcta của tần số giới hạn, khả năng cách âm của kết cấu giảm xuống đáng kể. Nếu tăng chiều dày của kết cấu, tần số giới hạn sẽ giảm thấp, khả năng cách âm của kết cấu sẽ giảm ở những tần số thấp tương ứng.

Từ bảng 10 - 4 có thể nhận thấy, đối với tường bêtông, muốn khử hiện tượng trùng sóng ở tần số giới hạn f_{gh} < 140Hz, khối lượng **P** > 220 kg/m^2, kết cấu nặng và cứng hơn.

Bảng 10 - 3. C_1 trong một số kết cấu

Kết cấu	Khối lượng riêng (kg/m^3)	C_1 (m/s)
- Bê tông, bê tông cốt thép	2500	4000
- Bê tông thạch cao, bê tông xỉ	2300	3700
- Khối gạch xây	1400	2300
- Thép	7850	5050
- Thủy tinh	2500	5300

Bảng 10 - 4. Tần số giới hạn (f_{gh}) của một số kết cấu

Vật liệu và kết cấu	Khối lượng bề mặt (kg/m^2)	f_{gh} (Hz)
Gạch	110	215
	200	115
	450	55
Bê tông	110	280
	220	140
	440	70
Vật liệu sợi cứng	4	9000
	6	6000
	10	3500

Vì thế, thiết kế kết cấu ngăn cách có tần số giới hạn nằm ngoài phạm vi tần số tiêu chuẩn yêu cầu ngăn cách (tức là f_{gh} < 100Hz hoặc f_{gh} > 3200 Hz) bằng cách cấu tạo thêm sườn để tăng độ cứng (f_{gh} < 140 Hz) hoặc xẻ rãnh để làm mềm kết cấu (f_{gh} > 3200 Hz).

Từ những phân tích trên, đối với kết cấu đồng nhất khả năng cách âm chỉ xác định trong hai phạm vi tần số.

Vùng II: Phạm vi tần số trong đó khối lượng của kết cấu đóng vai trò quyết định.

Vùng III: Phạm vi tần số trong đó hiệu ứng trùng sóng giữ vai trò quyết định.

Bỏ qua phạm vi tần số trong đó khả năng cách âm của kết cấu phụ thuộc hiện tượng cộng hưởng, vì phạm vi tần số cộng hưởng của kết cấu thấp hơn tần số tiêu chuẩn yêu cầu ngăn cách (< 100Hz) - Vùng I.

Trong thực tế, do tác dụng cơ học của thiết bị, máy móc và tác dụng va chạm có thể làm xuất hiện sóng uốn cong trong sàn nhà, sóng này lan truyền trong sàn và tường, bức xạ vào phòng, trở thành nguồn ồn không khí. Mức độ lan truyền tiếng ồn này phụ thuộc vào góc tới của sóng âm, tần số dao động, khối lượng, cấu tạo và phương pháp liên kết của kết cấu.

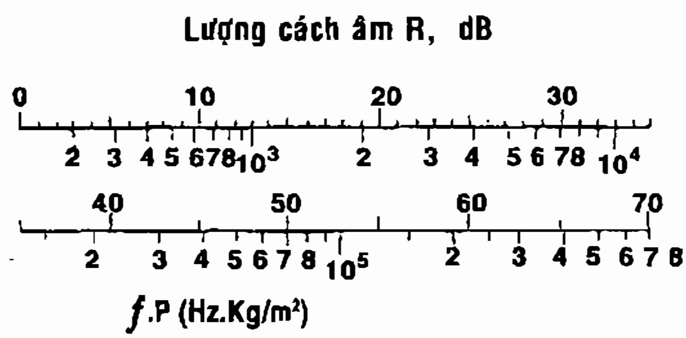
Khi nghiên cứu điều kiện liên kết bốn chung quanh của kết cấu (kết cấu đồng nhất và kết cấu nhiều lớp) với khả năng cách âm của kết cấu thấy rằng, khi tần số $f < f_{gh}$, khả năng cách âm của kết cấu không phụ thuộc vào khối lượng của kết cấu lân cận liên kết với nó. Khi $f > f_{gh}$ khả năng cách âm của tường và vách sẽ giảm nếu càng tăng chiều dài của tường và vách. Trong nhiều trường hợp thực tế, kích thước và điều kiện liên kết bốn chung quanh của kết cấu không có ý nghĩa đáng kể đối với khả năng cách âm của kết cấu. Trường hợp liên kết khớp, hay độ cứng của kết cấu lân cận khác nhiều so với độ cứng của kết cấu cách âm khi uốn cong, năng lượng bị tổn thất trong kết cấu do ma sát nội lớn hơn rất nhiều so với năng lượng truyền sang kết cấu lân cận. Do đó những giả thiết để đơn giản tính toán hoàn toàn phù hợp thực tế.

4. Lượng cách âm trung bình của kết cấu một lớp đồng nhất đối với tiếng ồn không khí

Từ nguyên lý dao động truyền âm nhận thấy:

Kết cấu nặng cách âm tốt hơn kết cấu nhẹ vì khó dao động dưới tác dụng của sóng âm.

Dao động truyền âm còn một đặc tính nữa là sự khác nhau giữa truyền âm tần số thấp và âm tần số cao. Âm trầm xuyên qua kết cấu dễ hơn âm cao, vì hầu hết kết cấu, tần số dao động riêng tương đối thấp, bước sóng uốn cong tương đối lớn phù hợp với âm trầm.



Hình 10 - 13. Toán đồ quan hệ giữa lượng cách âm R và (f.P)

Như vậy, ảnh hưởng tới tính năng cách âm của kết cấu chủ yếu do khối lượng **P** (kg/m^2) của kết cấu và tần số (f) của tiếng ồn. Công thức Beranek, theo định luật khối lượng (hình 10 - 13) có dạng:

$$R = 20\lg P + 20\lg f - 47,5 \quad (dB)$$

Công thức cho thấy, **P** và f tăng gấp đôi, lượng cách âm **R** của kết cấu đều tăng 6dB/ốcta và ngược lại.

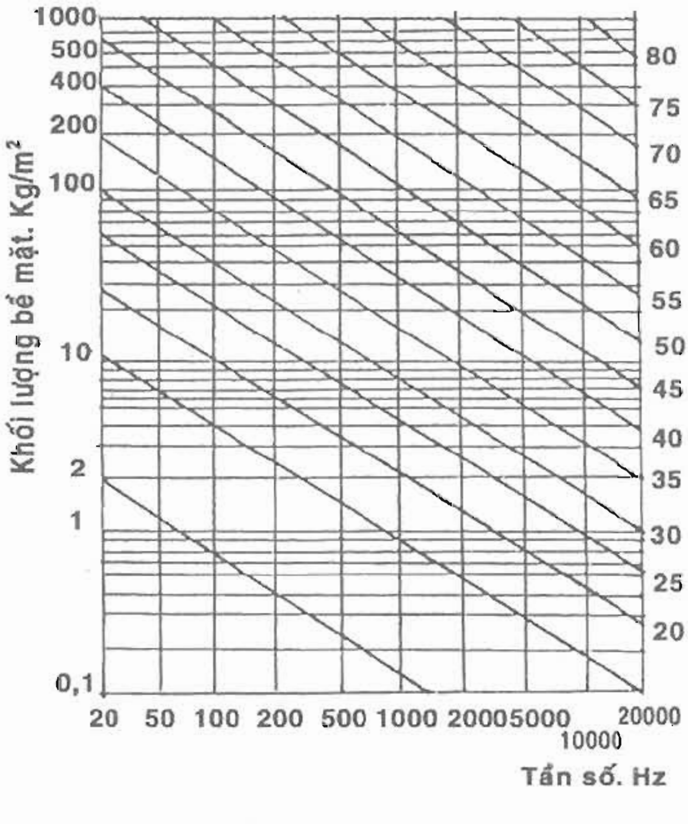
Thí dụ: Một bức tường có **P** = 100kg/m^2

- Tiếng ồn tần số 500 Hz → công thức cho kết quả **R** = 46 dB
- Tiếng ồn tần số 1000 Hz → công thức cho kết quả **R** = 52,5 dB
- Tiếng ồn tần số 250 Hz → công thức cho kết quả **R** = 40,5 dB

Cùng một kết cấu, tần số của tiếng ồn càng cao, lượng cách âm của kết cấu càng tăng.

Để tiện sử dụng trong thực tế, thường tính lượng cách âm trung bình của các quãng tần số, chẳng hạn có **n** quãng tần số, lượng cách âm của các quãng tần số: R_1, R_2, R_3, ... R_n, lượng cách âm trung bình R_{tb} bằng:

$$R_{tb} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n}{n} \quad (dB)$$



Hình 10 - 14. Đường đồng mức cách âm không khí

Công thức kinh nghiệm như sau:

- Đối với kết cấu $P \geq 200$ kg/m²

$$R = 23.lg.P - 9 \quad (dB)$$

- Đối với kết cấu $P < 200$ kg/m²

$$R = 13,5.lg.P + 13 \quad (dB)$$

- Đối với kết cấu nhẹ, $P = 30 \div 100$ kg/m², lượng cách âm **R** phụ thuộc sóng uốn cong xuất hiện dưới tác dụng của sóng âm tới, cho nên lượng cách âm xác định thông qua đường đặc tính tần số cách âm, theo công thức:

$$R = 20.lg.P f - 47,5 \quad (dB)$$

5. Phương pháp gần đúng để lập đường đặc tính tần số cách âm không khí của kết cấu đồng nhất

Phương pháp này (theo L. Beranek, 1960) áp dụng trong phạm vi tần số cao hơn 2 ÷ 3 tần số cộng hưởng đầu tiên của kết cấu. Toàn bộ miền tần số này chia làm ba vùng:

- Vùng I:

Phạm vi tần số trong đó khả năng cách âm của kết cấu phụ thuộc khối lượng của kết cấu.

- Vùng II:

Phạm vi tần số xấp xỉ tần số giới hạn (f_{gh})

- Vùng III:

Phạm vi tần số cao hơn tần số giới hạn.

Trình tự của phương pháp như sau.

+ Dựng hệ toạ độ vuông góc, tỷ lệ như sau:

Trục hoành: đặt tần số, 15 mm/ốcta, cách đều nhau, mỗi ốcta chia ba phần bằng nhau, mỗi phần 1/3 ốcta, đặc trưng bằng tần số trung bình của dải 1/3 ốcta đó.

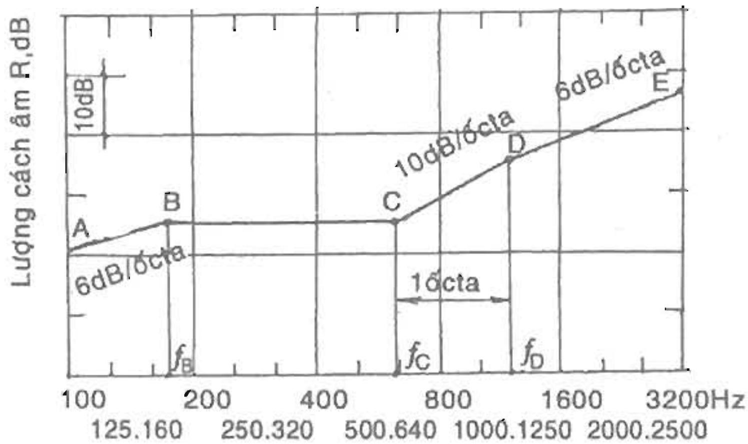
Tung độ: đặt lượng cách âm **R** dB, 20 mm/10 dB (hình 10 - 15).

+ Xác định khối lượng bề mặt của kết cấu $P = \rho.h$ (kg/m²).

+ Đặc tính tần số cách âm biểu thị bằng đường gãy khúc gồm 4 đoạn **ABCDE**.

+ Từ điểm **B** về phía trái, nghiêng xuống dưới, vạch đoạn thẳng **BA** nghiêng 6 (dB/ốcta). Từ điểm **C**, về phía phải, hướng lên trên và trong phạm vi 1 ốcta, dựng đoạn thẳng

nghiêng 10 dB/ốcta, có điểm **D** là giao điểm giữa **CD** với tần số $f_D = 2f_C$ từ **D** vạch đoạn **DE** nghiêng 6 (dB/ốcta) hướng lên trên (hình 10 - 15).



Hình 10 - 15. Lập đường đặc tính tần số cách âm không khí cho kết cấu phẳng đồng nhất

Thí dụ:

Lập đường đặc tính tần số cách âm không khí cho sàn giữa các tầng bằng panen bê tông cốt thép dày **h** = 6 cm.

Giải:

Xác định khối lượng bề mặt của sàn:

$$P = \rho.h = 2400 \times 0,06 = 144 \quad (kg/m^2)$$

Bảng 10 - 5. Số liệu để xác định toạ độ các điểm B và C

Vật liệu của kết cấu	R_B và R_C (dB)	f_B (Hz)	f_C (Hz)
Nhôm	29	6700/P	73700/P
Bê tông, bê tông cốt thép	38	19000/P	85000/P
Gạch	37	17000/P	77000/P
Thép	40	24000/P	260000/P
Thuỷ tinh	27	5300/P	53000/P
Gỗ dán (gỗ thông)	19	2100/P	13600/P
Gỗ (gỗ thông)	25	4200/P	20000/P
Bê tông xỉ	29	6700/P	43000/P
Bê tông bọt, xỉ than	36	15000/P	81000/P

Theo bảng 10 - 5 xác định toạ độ các điểm **B**, **C**:

$$f_B = \frac{19000}{P} = \frac{19000}{144} = 132\text{Hz} \qquad R_B = 38 \text{ (dB)}$$

$$f_C = \frac{85000}{P} = \frac{85000}{144} = 590\text{Hz} \qquad R_C = 38 \text{ (dB)}$$

Dựng tọa độ vuông góc (hình 10 - 16)

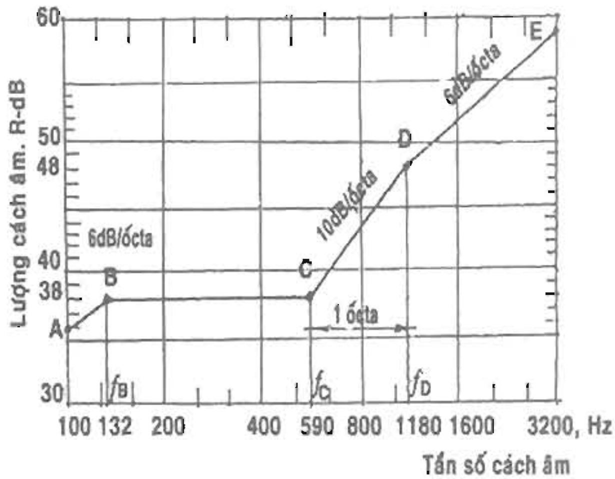
Đặt điểm **B** và **C** lên tọa độ. Nối **BC**, vạch **BA** nghiêng xuống phía trái 6 (dB/ốcta). Vạch **CD** nghiêng lên phía phải 10 (dB/ốcta) trong phạm vi 1 ốcta.

Ta có:

$f_D = 2f_C = 2 \times 590 = 1180$, Hz

$R_D = 38 + 10 = 48$, dB

Vạch **DE** dốc lên 6 (dB/ốcta).



Hình 10 - 16. Cho thí dụ

Tính khả năng cách âm của kết cấu đồng nhất đối với tiếng ồn không khí bằng cách lập đường đặc tính tần số cách âm của kết cấu, sau đó đem so sánh với đường đặc tính tần số tiêu chuẩn, xác định chỉ số cách âm không khí E_K.

6. Khả năng cách âm của tường nhiều lớp đối với tiếng ồn không khí

Đối với kết cấu đồng nhất, muốn tăng khả năng cách âm phải tăng khối lượng **P** (kg/m^2), nhưng hiệu quả cách âm tăng rất chậm so với sự tăng khối lượng của kết cấu. Khối lượng **P** tăng gấp đôi, lượng cách âm chỉ tăng 4 ÷ 6dB. Do đó để giảm nhẹ và tăng lượng cách âm của kết cấu thường sử dụng kết cấu nhiều lớp. So với kết cấu đồng nhất cùng hiệu quả cách âm, kết cấu nhiều lớp khối lượng giảm nhẹ 2/3 ÷ 3/4. Với điều kiện cùng khối lượng, **R** của kết cấu nhiều lớp cao hơn 6 ÷ 8 dB.

Kết cấu cách âm nhiều lớp, trong thực tế thường thấy kết cấu hai lớp có lớp không khí trung gian hoặc để trống hoặc đệm vật liệu xốp: thảm, bông, vật liệu sợi .... Khả năng cách âm của loại kết cấu này phụ thuộc khối lượng **P** của các lớp, chiều dày lớp không khí trung

gian, tần số giới hạn của các lớp, hiện tượng cộng hưởng của toàn kết cấu, góc tới của sóng âm, điều kiện liên kết theo chu vi... (hình 10 - 17).

Kết cấu hai lớp có lớp không khí trung gian, nếu hai lớp khối lượng bằng nhau, khả năng cách âm kém nhất. Vì hai lớp dao động cùng pha dưới tác dụng của sóng âm, do đó thường cấu tạo hai lớp nặng nhẹ khác nhau.

Khả năng cách âm của kết cấu nhiều lớp, trên mức độ rất lớn, phụ thuộc tần số dao động riêng của toàn kết cấu. Trong phạm vi tần số dao động riêng (f_0), khả năng cách âm của kết cấu giảm rõ rệt, cho nên thiết kế chú ý đưa tần số dao động riêng của kết cấu nhỏ hơn hoặc bằng 100Hz ($f_0 \leq 100$ Hz):

Kết cấu hai lớp, khối lượng P_1 và P_2 (kg/m^2) (hình 10 - 17), lớp không khí trung gian như lò so đàn hồi liên kết hai lớp thành một hệ dao động, không có liên kết cứng theo chu vi, sóng âm tới khuếch tán, tần số dao động riêng (tần số cộng hưởng) của kết cấu có thể xác định bằng công thức:

$$f_0 = 500\sqrt{\frac{E}{(P_1 + P_2)\delta}} \quad \text{(Hz)}$$

hoặc:

$$f_0 = 840\sqrt{\frac{1}{\delta} + (\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2})} \quad \text{(Hz)}$$

Nếu sóng âm tới vuông góc, f_0 nhỏ hơn 1,4 lần.

Trong đó: **E** – Mô đuyn đàn hồi (kg/m^2)

δ – Chiều dày lớp không khí trung gian (cm)

P – Khối lượng của 2 lớp cấu tạo, (kg/m^2)

d – Chiều dày của toàn kết cấu, (cm)

Do sự kích thích của sóng âm tới, cưỡng bức kết cấu dao động và bức xạ năng lượng âm qua phía bên kia của kết cấu. Tần số của sóng âm tới khác nhau, khả năng bức xạ này cũng khác nhau.

Khi $\lambda_u < \lambda_d$ của sóng âm tới, kết cấu bức xạ âm qua mặt sau kém.

Khi $\lambda_u > \lambda_d$ của sóng âm tới, kết cấu bức xạ âm qua mặt sau tăng lên, và lớn nhất khi $\lambda_u \approx \lambda_d$.

1. Những nhân tố ảnh hưởng tới lượng cách âm của kết cấu:

1) Cầu liên kết; 2) Chiều dày lớp không khí δ ; 3) Điều kiện liên kết theo chu vi

2. Đệm đàn hồi theo chu vi, **R** tăng 5 - 10dB.

3. Nhồi vật liệu rời, nặng (cát) giữa hai lớp kết cấu nặng, **R** tiếp cận định luật khối lượng. Nhồi vật liệu đàn hồi sẽ tăng **R** ở tần số cao.

4. Hai lớp nặng nhẹ khác nhau :

*1) Gạch bê tông; 2) Nhồi vật liệu xốp đàn hồi **R** tăng 8 - 10dB; 3) Lớp dễ uốn.*

5. Cầu nối liên kết cứng, lượng cách âm **R** giảm 10 - 20dB.

6. Vách ngăn bằng 2 tấm dễ uốn, có liên kết cứng lớn ở giữa, tăng được lượng cách âm.

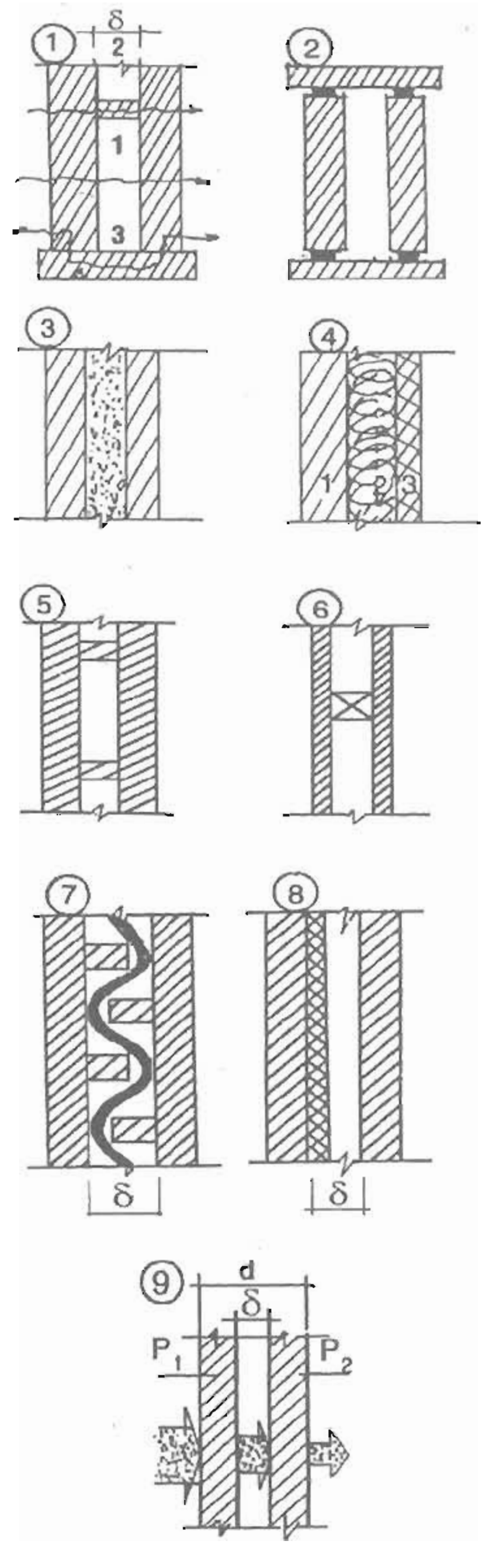
7. Hai lớp cứng, nặng, vật liệu xốp trong lớp không khí trung gian. **R** tăng thêm không đáng kể. Nhưng tăng một lớp thảm, giảm chiều dày δ tránh được cầu liên kết cứng giữa hai lớp tường.

8. Chiều dày δ thông thường thiết kế 10 - 15cm.

- Chiều dày δ có thể giảm tần số cộng hưởng của kết cấu.

- Giảm khối lượng một lớp vách có lợi đối với cách âm.

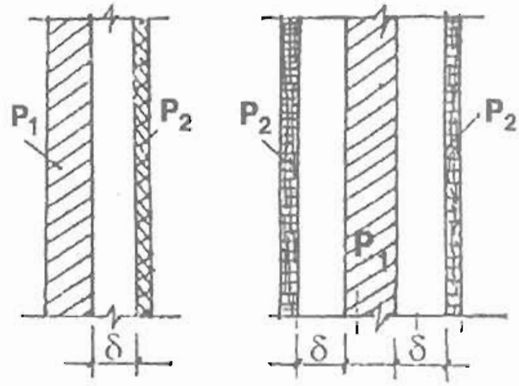
9. Để xác định tần số dao động riêng f_0



Hình 10 - 17. Cấu tạo tường 2 lớp cách âm

Do đó khi sóng âm tới tần số $f < f_{gh}$ kết cấu bức xạ năng lượng qua mặt sau kém, khi $f > f_{gh}$ kết cấu bức xạ năng lượng âm qua mặt sau rất lớn. Nếu trên kết cấu ngăn cách cấu tạo thêm một lớp dễ uốn có f_{gh} cao sẽ tăng được khả năng cách âm của toàn kết cấu, vì khi đó khả năng bức xạ năng lượng âm của toàn kết cấu giảm. Thiết kế những kết cấu như vậy, bảo đảm thỏa mãn những điều kiện:

- Nếu có một lớp dễ uốn, khối lượng P (kg/m²): $P.\delta \geq 50$ kg.cm/m²
- Nếu có hai lớp dễ uốn giống nhau ở hai phía: $P.\delta \geq 100$ kg.cm/m²



Hình 10 - 18. Cấu tạo lớp dễ uốn cong

Trong đó: δ - Chiều dày của lớp không khí trung gian (cm) (hình 10 - 18)

Kết cấu hai lớp, đệm vật liệu đàn hồi có môđun đàn hồi nhỏ, tăng thêm hiệu quả cách âm do hai tác dụng: hút âm và dao động cộng hưởng. Khi đó tần số dao động riêng của toàn kết cấu có thể xác định bằng công thức:

$$f_0 = \frac{1}{2}.\sqrt{K\left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}\right)}. \text{ Hz}$$

Trong đó: **K** – độ cứng của đệm đàn hồi (kg/m³)

Độ cứng động cực đại của lớp không khí trung gian hoặc lớp vật liệu đàn hồi ở giữa:

$$K_{max} = 4.10^4 \frac{P_1.P_2}{P_1 + P_2}, \quad (\text{kg/m}^3)$$

Nếu $P_1 = P_2 = P$, chiều dày tối thiểu (δ_{min}) của lớp không khí trung gian:

$$\delta_{min} = \frac{0,7}{P}, \quad (\text{mét})$$

Thực tế, kết cấu hai lớp khối lượng P_1 và P_2 (kg/m²) có lớp không khí trung gian, lượng cách âm trung bình R_{tb} xác định như sau:

- Khi $P = (P_1 + P_2) \geq 200$ (kg/m²).

$$R_{tb} = 23.\lg.P - 9 + \Delta R \quad (\text{dB})$$

hay là: $R_{tb} = 23.\lg.(P_1 + P_2) - 9 + \Delta R$ (dB)

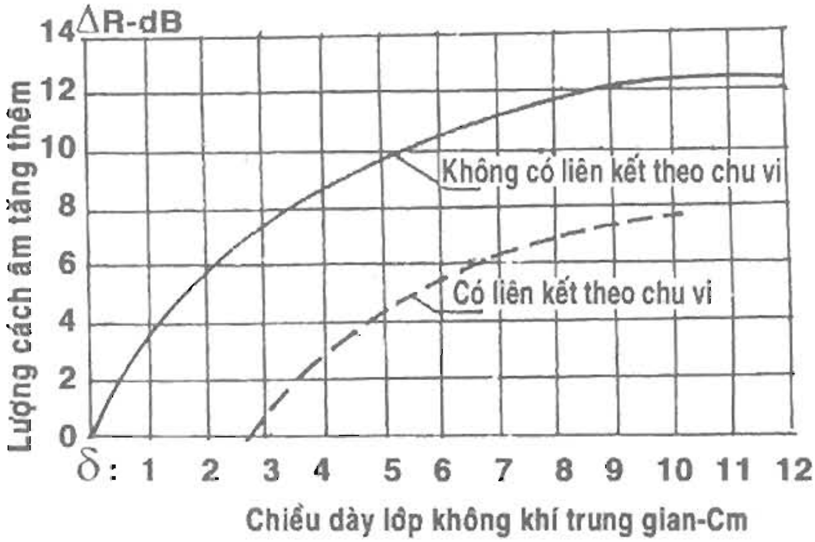
- Khi $P = (P_1 + P_2) < 200$ (kg/m²).

$$R_{tb} = 13{,}5.\lg.P + 13 + \Delta R \quad (dB)$$

hay là: $R_{tb} = 13{,}5.\lg.(P_1 + P_2) + 13 + \Delta R$ (dB)

Trong đó: ΔR – Lượng cách âm tăng thêm, giá trị của ΔR phụ thuộc vào chiều dày của lớp không khí trung gian và điều kiện liên kết theo chu vi của kết cấu cách âm.

Thực tế không thể không có liên kết cứng theo chu vi, khi đó khả năng cách âm sẽ giảm, giá trị của ΔR có thể lấy số liệu cho trong bảng 10 - 7 hoặc hình 10 - 19.



Hình 10 - 19. Lượng cách âm tăng thêm ΔR phụ thuộc chiều dày δ

Bảng 10 - 7. Giá trị của ΔR

Chiều dày của lớp không khí trung gian (cm)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ΔR	Có liên kết cứng theo chu vi	0	0	0	0,5	3	4	5.5	6,5	7	7,5	8	8
	Không có liên kết theo chu vi	0	3	[illegible]	7.5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12

Thí dụ: Khối lượng riêng của tường gạch rỗng 1200 kg/m³. Tường 2 lớp, mỗi lớp dày 6,5cm. Lớp không khí trung gian δ = 4cm. Tính **R** của tường ?

Giải:

Kiểm tra tần số cộng hưởng:

$$f_0 = 840\sqrt{\frac{1}{\delta}+(\frac{1}{P_1}+\frac{1}{P_2})} = 840\times\sqrt{0,25\times 0,0256} = 67 \text{ Hz} < 100 \text{ Hz}$$

Tính $P_1 + P_2 = P = 1200 \times 0,065 \times 2 = 156$ kg/m^2 < 200 kg/m^2. Toán đồ hình 10 - 19, với δ = 4cm, tìm được ΔR = 3 dB (có liên kết theo chu vi).

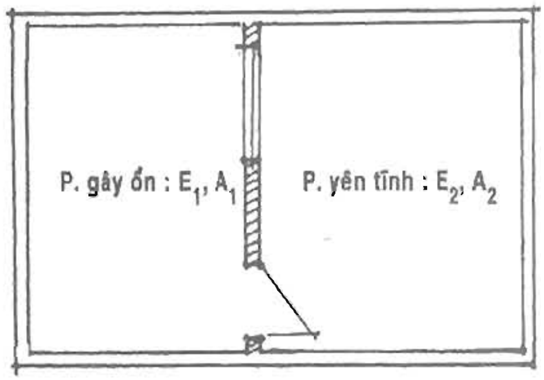
$$R = 13,5\lg.\ P + 13 + \Delta R = 13,5\lg 156 + 13 + 3 = 46 \text{ (dB)}$$

7. Khả năng cách âm của tường hỗn hợp gồm nhiều bộ phận có khả năng cách âm khác nhau

Tường ngăn cách giữa phòng ồn và phòng yên tĩnh gồm 3 bộ phận: tường, cửa đi, cửa sổ là kết cấu cách âm hỗn hợp.

Trong phòng ồn, nguồn ồn bức xạ năng lượng E_1 lượng hút âm trong phòng ồn A_1.

Trong phòng yên tĩnh, lượng hút âm A_2, tiếp nhận năng lượng âm E_2.



Hình 10 - 20

Tường ngăn cách gồm nhiều bộ phận khác nhau (tường, cửa đi, cửa sổ, ..), diện tích và hệ số xuyên âm của các bộ phận S_1, τ_1 , S_2, τ_2 , S_3, τ_3 ... chúng ta đều biết, hệ số xuyên âm trung bình $\bar{\tau}$:

$$\bar{\tau} = \frac{S_1.\tau_1 + S_2.\tau_2 + .. + S_n.\tau_n}{S_1 + S_2 + ... + S_n} = \frac{\sum_1^n S_i.\tau_i}{S}$$

$$E_2 = \bar{\tau}.E_1\frac{S}{A_2} = \frac{\sum_1^n S_i.t_i}{A_2}.E_1$$

(S – diện tích kết cấu cách âm hỗn hợp, m^2)

- **Hệ số xuyên âm tương đương**

Nếu kết cấu ngăn cách gồm hai bộ phận (thông thường) S_1, τ_1 và S_2, τ_2

$$S_1.\tau_1 = S_2.\tau_2$$

Năng lượng âm xuyên qua hai bộ phận này bằng nhau, khi đó τ_1 và τ_2 tương đương nhau.

Thiết kế kết cấu cách âm hỗn hợp, bảo đảm các hệ số xuyên âm tương đương nhau mới đạt được hiệu quả kinh tế.

Như vậy, điều kiện kinh tế của kết cấu cách âm hỗn hợp:

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{S_1}{S_2} \Rightarrow \tau_2 = \frac{S_1}{S_2}.\tau_1$$

$$R_2 = 10.\lg\frac{1}{\tau_2} = 10.\lg\frac{1}{\tau_1}\frac{S_2}{S_1} = 10.\lg\frac{1}{\tau_1} + 10.\lg\frac{S_2}{S_1}$$

Hay là: $R_2 = R_1 + \Delta R$

ΔR - Có thể (+) hoặc (–) phụ thuộc tỷ số $\frac{S_2}{S_1}$

Khi thiết kế tường cách âm hỗn hợp, lượng cách âm của tường (R_t) lớn hơn lượng cách âm của cửa (R_C). Cửa đi, cửa sổ thông thường, lượng cách âm khoảng 13 ÷ 15 dB đủ đạt yêu cầu:

Khi đã biết τ_t, τ_C, S_t, S_C.

Lượng cách âm hỗn hợp (R_{hh}):

$$R_{hh} = 10\lg\frac{1}{\tau} \quad (dB)$$

Hoặc: $$R_{hh} = R_t - 10\lg\left[1 + \frac{S_C}{S}\left(10^{0,1(R_t - R_C)} - 1\right)\right] \quad (dB)$$

Chú ý: $S = S_t + S_C$

- Khi diện tích lỗ trống trên tường bằng **1%** diện tích tường, lượng cách âm của tường không vượt quá 20 dB.

8. Khe hở giảm lượng cách âm (R) của kết cấu

Như trên đây đã đề cập, có khe hở trên kết cấu cách âm, lượng cách âm của kết cấu suy giảm. Mức độ suy giảm (ΔR) phụ thuộc hình dáng, kích thước của khe hở, có thể xác định bằng công thức:

$$\Delta R = 10.\lg\left(1 + n\frac{S_K}{S}.10^{0,1R}\right) \quad (dB)$$

Trong đó:

S_K, S - diện tích khe hở và diện tích kết cấu ngăn cách tính bằng cm^2, m^2.

R - lượng cách âm của kết cấu khi không có khe hở.

n - hệ số phóng đại bất lợi của khe hở, biểu thị bằng lượng cách âm suy giảm, có thể tham khảo giá trị thực nghiệm (bảng 10 - 8,9).

Bảng 10 - 8. Khe hở tròn 3 ÷ 12mm, n phụ thuộc tần số

f (Hz)	100	200	400	800	1200	1800
n	75	56	29	12	6	2,5

Bảng 10 - 9. Khe hở dài 70mm, chiều rộng khác nhau, ở tần số 800 Hz

Chiều rộng khe hở (mm)	0,1	0,2	0,5	1	2	3
n	300	220	100	64	38	33

Thực nghiệm cho thấy, khi trên kết cấu có khe hở, lượng cách âm của kết cấu có xu hướng phụ thuộc tần số.

9. Độ giảm mức ồn qua cửa mở

Năng lượng âm đi qua lỗ trống trên tường vào phòng tỷ lệ với diện tích lỗ trống.

Kết cấu ngăn cách giữa phòng ồn và phòng yên tĩnh, diện tích **S** (m^2), độ giảm mức ồn khi truyền từ phòng ồn qua cửa mở vào phòng yên tĩnh.

$$\Delta R = 10.\lg\frac{A}{S} \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: **A = A_2** - lượng hút âm của phòng yên tĩnh (m^2)

S - diện tích lỗ cửa mở trên tường ngăn cách (m^2)

Lượng cách âm thực tế (R_a) của phòng

Do tác dụng hút âm trong phòng, lượng cách ân thực tế **R_a** của phòng khác với lượng cách âm của kết cấu ngăn cách một lượng bằng: $10.\lg\frac{A_2}{S}$

$$R_a = L_1 - L_2 = R + 10.\lg\frac{A_2}{S} = R + 10.\lg A_2 - 10\lg.S \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: **R** - Lượng cách âm của kết cấu ngăn cách, diện tích **S** (m^2)

L_1 - Mức ồn trong phòng ồn (dB)

L_2 - Mức ồn trong phòng yên tĩnh (dB)

Như vậy:

$$R^{y/c} = R_e + 10.\lg\frac{S}{A_2} \text{ (dB)}$$

Là lượng cách âm yêu cầu ($R^{y/c}$) đối với kết cấu ngăn cách.

$$10.\lg\frac{S}{A_2} = \Delta R \quad \text{(dB)}$$

Là lượng cách âm do tác dụng hút âm (A_2) của phòng yên tĩnh

Lượng hút âm A_1, A_2 xác định bằng phương trình thời gian âm vang của Sabin.

Phòng có thời gian âm vang dài (lượng hút âm **A** bé), giá trị **ΔR** giảm, mức ồn thực tế trong phòng tăng lên. Nếu $A > S \rightarrow R_e > R$. Ngược lại nếu $A < S \rightarrow R_e < R$.

Trường hợp tiếng ồn từ ngoài nhà xâm nhập vào phòng, lượng cách âm thực tế R_e của phòng nhỏ hơn 6dB do điều kiện truyền âm khác với trên đây:

$$R_e = R + 10.\lg\frac{A_2}{S} - 6 \text{ (dB)}$$

10. Quy phạm cách âm không khí cho nhà ở

Mục đích của quy phạm nhằm đảm bảo tiện nghi yên tĩnh trong không gian ở.

Mức áp suất âm chênh lệch giữa phòng gây ồn và phòng cách ly quyết định do 2 yếu tố:

- Khả năng cách âm **R** của kết cấu phân cách giữa phòng gây ồn và phòng yên tĩnh.

- Tổng lượng hút âm **A** trong phòng yên tĩnh.

Sau khi hoàn thiện nội ốc, thời gian âm vang trong phòng hầu như không phụ thuộc vào thể tích phòng, và bằng 0,5 giây ở tất cả các tần số, điều này có nghĩa là tổng lượng hút âm trong phòng bằng tích của thể tích phòng với một hằng số. Do đó, quy phạm cách âm yêu cầu:

- Nếu thời gian âm vang trong phòng yên tĩnh 0,5 giây, chênh lệch mức áp suất âm giữa phòng ồn và phòng yên tĩnh, chắc chắn tồn tại một giá trị nhất định, - giá trị chênh lệch này gọi là mức áp suất âm chênh lệch có ích (ΔL_{hh}).

• Nếu như lấy thời gian âm vang tiêu chuẩn 0,5 giây cho phòng yên tĩnh, như vậy khi thể tích 2 phòng khác nhau, ΔL_{hh} phụ thuộc vào hướng xuyên âm, điều này phù hợp với thực tế.

Để đơn gọn quy phạm, có thể lấy mức áp suất âm trung bình trong phạm vi tần số cách âm từ 100 – 3200 Hz. Vì rằng độ nghiêng trung bình của đồ thị ΔL_{hh} của các loại hình cấu tạo kiến trúc biến đổi không nhiều.

ΔL_{hh} trung bình cũng giống như lượng cách âm trung bình. Có khi sử dụng 3 giá trị trung bình của 3 phạm vi tần số: 100 – 320 Hz, 400 – 1250 Hz và 1600 – 3200 Hz.

Cần lưu ý, trường hợp ΔL_{hh} biến đổi nhiều, bắt buộc phải dựng đường đặc tính tần số đầy đủ.

Mức áp suất âm chênh lệch giữa 2 phòng, như đã biết:

$$\Delta L = L_1 - L_2, \text{ dB}$$

ΔL còn phụ thuộc vào tổng lượng hút âm **A** của phòng yên tĩnh, khi đó ΔL gọi là ΔL_{hh}:

$$\Delta L_{hh} = L_1 - L_2 + 10.\lg\frac{A_0}{A}, \text{ dB}$$

Trong đó: A_0 - Lượng cách âm tiêu chuẩn trong phòng ở, thường quy định $10m^2$.

A – Lượng hút âm thực đo trong phòng yên tĩnh.

Nhiều quốc gia, thừa nhận năng lượng **E** của nguồn ồn là hằng số. Điều này dẫn tới nhiều bất lợi.

Trong cùng một nhà ở, ΔL_{hh} giữa phòng ngủ với các phòng khác, ít nhất 35 dB. Giữa các phòng ngủ với nhau, tối thiểu 55 dB.

Nếu thời gian âm vang T_2 trong phòng yên tĩnh khác 0,5 giây, cần phải thực đo mức âm chênh lệch, khi đó chênh lệch mức áp suất âm có ích có thể xác định bằng công thức:

$$\Delta L_{hh} = L_1 - L_2 + 10.\lg\frac{T_2}{0,5}, \text{ dB}$$

Nếu như truyền âm qua tường cách âm lớn hơn rất nhiều lượng âm xuyên qua biên, chênh lệch mức áp suất âm đo đạc xác định bằng công thức:

$$L_1 - L_2 = R + 10.\lg\frac{A_2}{S}$$

Như vậy:

$$\Delta L_{hh} = (L_1 - L_2) + 10.\lg\frac{T_2}{0,5}, \text{ dB}$$

Sau khi dẫn giải, ta có:

$$\Delta L_{hh} = R + 10.\lg\frac{0,32V_2}{S}, \quad dB$$

Nếu bỏ qua lượng xuyên âm ở biên, kể thêm hệ số hiệu chỉnh **C**:

$$\Delta L_{hh} = R + 10.\lg\frac{0,32V_2}{S} - C, \quad dB$$

Bảng 10 - 10. Hệ số hiệu chỉnh C

Tỷ lệ khối lượng bề mặt của tường liên kết với khối lượng bề mặt của tường cách âm	Mức âm giảm, **C** - dB
4 hoặc > 4	0
2	3
1	6
1/2 hoặc < 1/2	8

Thí dụ:

Một nhà ở, tường cách âm diện tích $12m^2$, thể tích phòng 2 bên $50m^3$:

$10.\lg\dfrac{0,32V_2}{S} \approx 0$, nếu có thể bỏ qua lượng xuyên âm ở biên: $\Delta L_{hh} \approx R$, ngược lại $\Delta L_{hh} < R$.

B) Ngăn cách tiếng ồn va chạm trên sàn

1. Phương thức lan truyền âm va chạm

Tiếng ồn do va chạm trên bản sàn hoặc do thiết bị cơ khí rung động trên mặt sàn gây ra. Theo phương thức va chạm gây chấn động bản sàn, có hai loại nặng nhẹ khác nhau.

- **Va chạm nhẹ**: do tiếng giày, tiếng guốc đi lại trên sàn, gây chấn động cục bộ phát ra tiếng ồn, lan truyền trong kết cấu (hình 10 - 21).

- **Va chạm mạnh**: gây chấn động toàn kết cấu, chẳng hạn máy quạt gió đặt trên sàn hoặc những thiết bị cơ khí nào đó, phương thức lan truyền tiếng ồn này khá nghiêm trọng.

Trong kết cấu, tiếng ồn va chạm lan truyền theo hai phương. Một phương: tiếng ồn theo chấn động bức xạ âm xuống phòng dưới, một phương: lan truyền theo chấn động trong nội bộ kết cấu, cuối cùng bức xạ vào các phòng cùng tầng. Có khi nghe được tiếng va chạm từ rất xa truyền tới.

Do đó, thiết kế kết cấu không liên tục, ngăn cách có hiệu quả nhất sự lan truyền tiếng ồn va chạm.

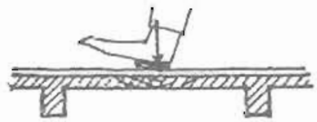
Năng lượng âm tắt dần khi lan truyền trong kết cấu có thể tham khảo số trị trong phụ lục 1.

2. Giải pháp xử lý

- Chấn động đi vào kết cấu mang tải năng lượng âm theo tần số của chấn động. Năng lượng lan truyền nhiều hay ít phụ thuộc tỷ suất giữa kích thước của cấu kiện với chiều dài bước sóng âm. tỷ suất này lớn (kích thước cấu kiện lớn), lan truyền âm thấp tần nhiều, tỷ suất nhỏ ngược lại, do đó khi bản vách lớn, tìm giải pháp chia cắt thành diện tích nhỏ để cải thiện hiệu quả cách âm.

- Trở lực ma sát (lực cản) trong nội bộ kết cấu ảnh hưởng hiệu suất lan truyền chấn động. Lực cản lớn, chấn động tắt dần nhanh. Tăng lực cản, tăng lượng cách âm, do đó thường bổ sung vào kết cấu những vật liệu có lực cản lớn như vật liệu rỗng (thảm chẳng hạn).

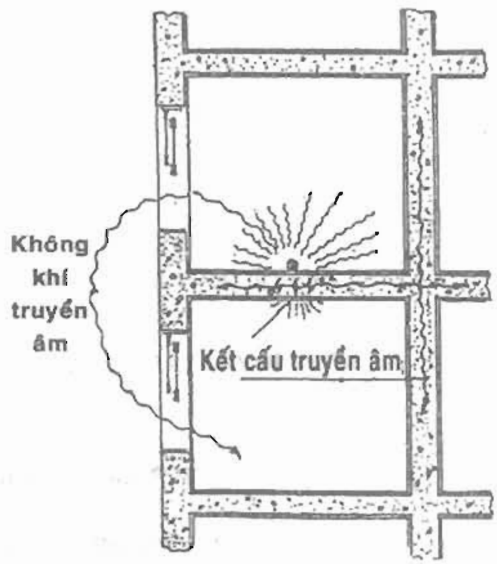
- Khả năng lan truyền âm va chạm phụ thuộc mức độ đặc chắc của vật liệu, càng đặc chắc tốc độc lan truyền chấn động càng nhanh, cường độ càng cao, hiệu quả này khác với đặc điểm cách âm không khí.



Va chạm chấn động cục bộ



Va chạm chấn động toàn sàn



Hình 10 - 21. Phương thức lan truyền âm va chạm

Qua nhiều thực nghiệm xác định lượng cách âm của các loại vật liệu cấu tạo theo bản sàn bê tông, cho thấy, vật liệu rỗng, mềm như thảm, gỗ mềm ... cách âm không khí không tốt nhưng cách âm va chạm rất tốt, có thể hấp thu một bộ phận chấn động, giảm tốc độ lan truyền chấn động.

Đối với cách âm va chạm, cho đến nay chưa có phương pháp tính toán và lý luận chính xác, chủ yếu nghiên cứu qua điều tra thực nghiệm thực tế.

3. Kết luận

Tổng hợp lại, rút ra những nhận xét sau nhằm tăng hiệu quả cách âm va chạm:

- Sử dụng kết cấu không liên tục, cách ly chấn động tại nguồn.

- Tăng cường trở lực ma sát trong nội bộ kết cấu.

- Xử lý cách âm va chạm đồng thời với xử lý cách âm không khí, hai yêu cầu này, tính năng của vật liệu không đồng nhất.

- Lan truyền chấn động, ngoài va chạm trực tiếp trên mặt sàn còn có chấn động lan truyền qua nền đất, móng, xâm nhập vào công trình, mỗi phương thức lan truyền, giải pháp xử lý khác nhau.

4. Chỉ số cách âm – Tiêu chuẩn cách âm

Để có căn cứ đánh giá hiệu quả của giải pháp thiết kế, tiêu chuẩn xây dựng đưa ra hai chỉ số cách âm:

- Chỉ số cách âm không khí (L_K) áp dụng cho kết cấu tường, vách, sàn.

- Chỉ số mức âm va chạm quy đổi (L_V) áp dụng cho sàn giữa các tầng.

Tiếng ồn chấn động do trang thiết bị gây ra, nghiên cứu theo đặc điểm của thiết bị.

Tiếng ồn va chạm thường xuyên do người đi lại trên sàn, tiêu chuẩn hóa bằng tiếng ồn va chạm do máy gây ồn tiêu chuẩn (máy búa) va đập trên sàn gây ra.

Máy búa cấu tạo gồm năm chiếc búa xếp thành một hàng cách nhau 0,1m khối lượng mỗi búa 0,5kg, đầu búa hình cầu, bán kính khoảng 3cm. Búa tự do rơi xuống sàn ở độ cao 4cm, đập 10 cái trong một giây.

Hai chỉ số xác định trên cơ sở tính toán hay đo đạc mức cường độ ồn phía dưới sàn (L_V) gọi là mức cường độ ồn quy đổi. Đo mức cường độ ồn quy đổi như sau: cho máy búa va đập trên sàn, dùng máy đo mức cường độ ồn L_2 phía dưới sàn. Từ đó tính mức âm L_V.

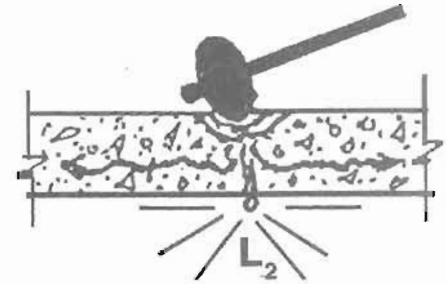
$$L_V = L_2 - 10.\lg\frac{A_0}{A_2} \quad \text{(dB)}$$

Nếu thời gian âm vang tiêu chuẩn của phòng cách ly T_2 = 0,5 giây:

$$L_V = L_2 - 10.\lg\frac{T_2}{0,5} \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: L_2 - Mức cường độ âm trung bình đo dưới sàn ở các quãng độ cao (dB), giá trị của L_2 càng nhỏ cách âm càng tốt (hình 10 - 22).

$10.\lg\frac{A_0}{A_2}$ - Lượng cách âm tăng thêm do tác dụng hút âm của phòng.



Hình 10 - 22. Đo âm va chạm

A_0 - Lượng hút âm tiêu chuẩn. Đối với phòng ở A_0 = 10m^2.

A_2 - Lượng hút âm xác định qua thời gian âm vang của Sabin thực đo trong phòng cách ly.

Bảng 10 - 11. Trị số tiêu chuẩn chỉ số cách âm – TCXD 150 - 1986

Tên và vị trí kết cấu ngăn cách	Chỉ số cách âm không khí L_k (dB)	Chỉ số mức âm va chạm quy đổi L_v (dB)
1 – Sàn giữa các phòng ở kiểu căn hộ	45	73
2 – Sàn giữa các phòng ở với tầng hầm, tầng đệm, phòng áp mái có sử dụng	40	-
3 – Sàn giữa các phòng ở với các cửa hàng ở phía dưới.	50	73
4 – Sàn giữa phòng ở với các phòng phía dưới dùng làm phòng thể thao, cefê, các phòng phục vụ công cộng tương tự.	55	73
5 – Sàn giữa các phòng trong căn hộ nhà 2 tầng.	40	75
6 – Sàn giữa các phòng sinh hoạt văn hóa trong nhà tập thể hoặc giữa các phòng đó với phòng sử dụng chung (phòng đệm, tiền sảnh, hành lang).	43	75
7 – Tường và vách giữa các căn hộ, giữa phòng ở của căn hộ với cầu thang, phòng đệm, tiền sảnh.	45	–
8 – Tường giữa phòng ở của căn hộ và cửa hàng.	50	–
9 – Tường giữa các phòng ở kiểu căn hộ và phòng ăn, phòng thể thao, tiệm cefê và các phòng tương tự khác.	55	–
10 – Vách không có cửa, giữa các phòng ở, giữa bếp với phòng ở của căn hộ.	40	–
11 – Vách giữa phòng ở với khu vệ sinh của một căn hộ.	40	–
12 – Cửa đi hướng ra cầu thang, sảnh hành lang.	20	–
13 – Cầu thang và chiếu nghỉ.	20	73
14 – Tường và vách ngăn giữa các phòng phục vụ sinh hoạt văn hóa của nhà tập thể và giữa chúng với các phòng sử dụng chung (sảnh, phòng đệm, cầu thang)	40	–

Qua kiểm nghiệm thực tế cho thấy, sàn toàn khối và sàn rỗng, nếu chỉ có lớp chịu lực với lớp mặt làm sạch, không đủ ngăn cách tiếng ồn va chạm. Ngăn cách được tiếng ồn va chạm thường xử lý lớp đệm đàn hồi trên mặt sàn.

Nhờ lớp đệm này, lượng cách âm của sàn tăng thêm một lượng ΔL (dB) bằng:

$$\Delta L = L_V - L'_V \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: L'_V - Mức áp suất âm đo được dưới sàn sau khi đã xử lý lớp đệm đàn hồi trên sàn (dB).

Giá trị của ΔL càng lớn, hiệu quả cách âm sau khi xử lý càng cao, ΔL xấp xỉ bằng tiêu chuẩn (ΔL_{tc}) mới đạt yêu cầu :

$$\Delta L = L_V - L'_V = \Delta L_{tc}$$

Hay là:

$$L_{tc} = L'_V = L_V - \Delta L$$

Chỉ số tiêu chuẩn cách âm không khí L_X của kết cấu phân cách (dB) và mức âm va chạm quy đổi dưới sàn L_V (dB) (bảng 10 - 11), (hình 10 - 23).

Như vậy, thiết kế cách âm va chạm cho bản sàn dẫn tới việc xác định giá trị độ giảm mức ồn va chạm ΔL sau khi xử lý lớp mặt sàn trên đệm đàn hồi, so sánh giá trị ΔL thiết kế với ΔL_{tc}.

a) Đường cong tiêu chuẩn cách âm không khí R_{tc}, dB

- Đường cong 1: kết cấu cách âm không có truyền âm gián tiếp.
- Đường cong 2: Kết cấu cách âm có truyền âm gián tiếp (truyền qua kết cấu liên kết hoặc kết cấu liên kết truyền tới kết cấu cách âm)

b) Đường cong tiêu chuẩn cách âm va chạm dưới sàn L_{tc}, dB (TCXD 150 - 1986)

c) Đường cong tiêu chuẩn độ giảm mức ồn va chạm đối với các loại sàn khác nhau (tham khảo):

- Sàn đặc toàn khối, sàn rỗng.

P = 150 kg/m^2 sử dụng đường cong 3

P = 200 kg/m^2 sử dụng đường cong 4

P = 250 kg/m^2 sử dụng đường cong 5

P = 300 kg/m^2 sử dụng đường cong 6

P = 375 kg/m^2 sử dụng đường cong 7

P = 450 kg/m^2 sử dụng đường cong 8

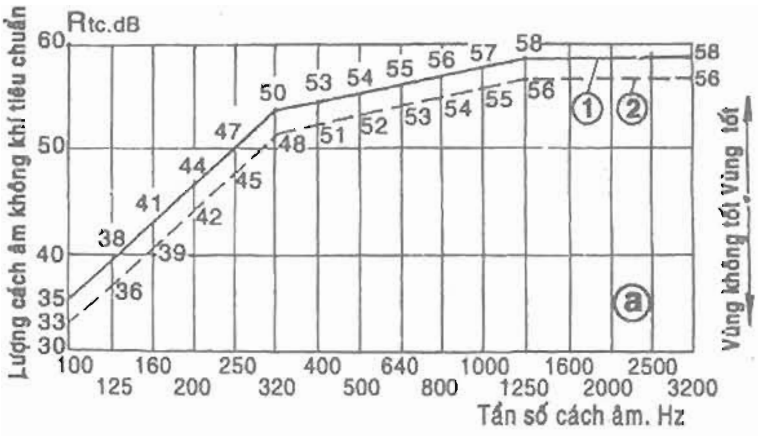
- Sàn có trần treo mềm:

P = 150 kg/m^2 sử dụng đường cong 4

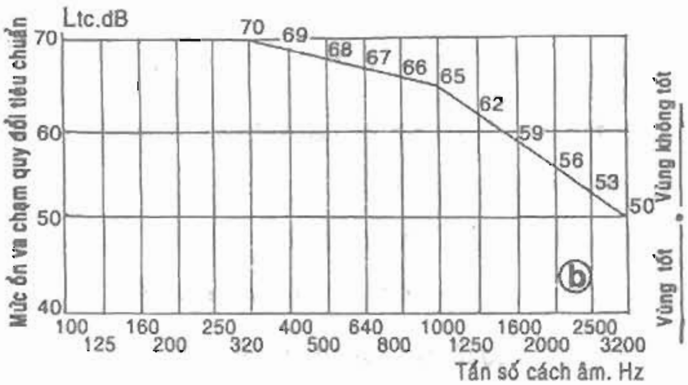
P = 200 kg/m^2 sử dụng đường cong 6

P = 250 kg/m^2 sử dụng đường cong 7

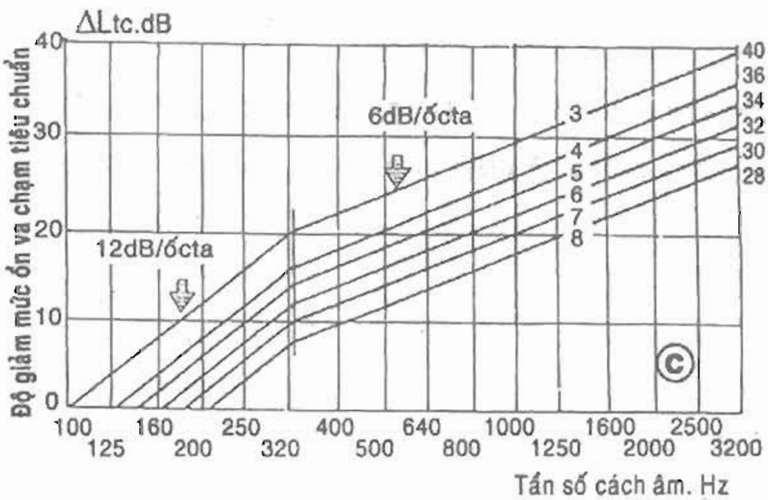
P = 300 kg/m^2 sử dụng đường cong 8



Tiêu chuẩn cách âm không khí - Rtc.dB



Tiêu chuẩn cách âm va chạm dưới sàn - Ltc.dB

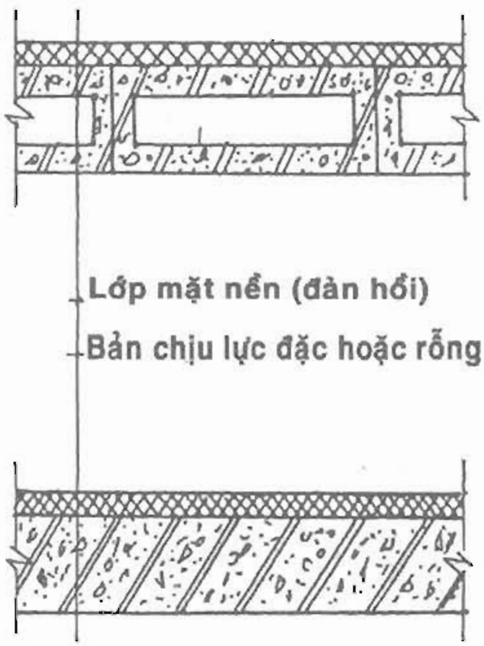


Tiêu chuẩn độ giảm mức ồn va chạm - ΔLtc.dB

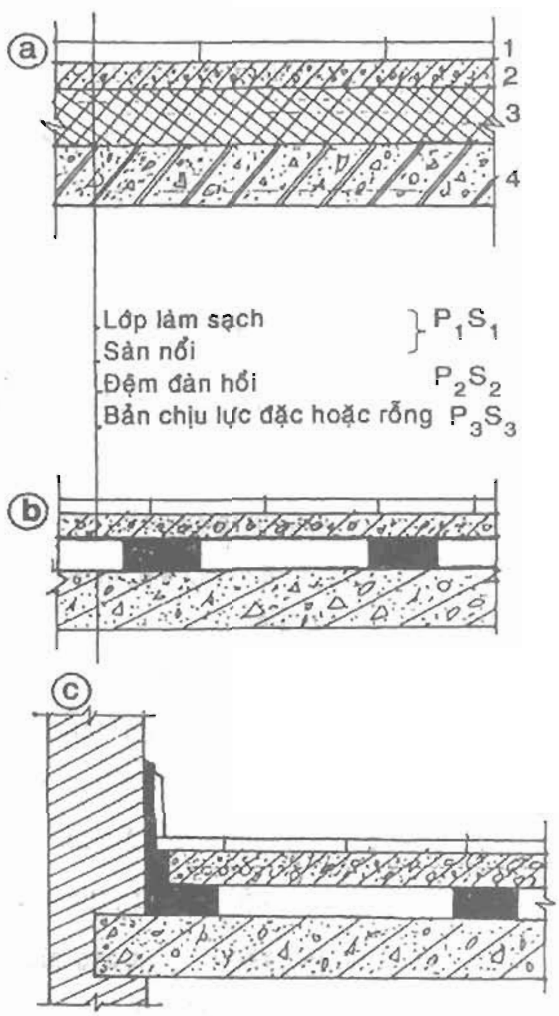
Hình 10 - 23. Đường cong tiêu chuẩn cách âm

5. Giải pháp cấu tạo cách âm va chạm

a) Sàn bê tông đặc và rỗng phủ lớp mặt mềm (hình 10 - 24)



Hình 10 - 24. Phủ lớp mặt mềm cách âm va chạm



Hình 10 - 25. Cấu tạo sàn nổi

a) Sàn nổi trên nền đàn hồi liên tục

b) Sàn nổi trên nền đàn hồi gián đoạn

c) Liên kết sàn nổi với tường

Lớp mặt mềm phủ trên sàn tăng khả năng cách âm va chạm. Ở tần số thấp, lượng tăng không đáng kể vì khả năng cách âm của sàn chủ yếu phụ thuộc khối lượng của sàn, ở tần số thấp biên độ dao động của sàn lớn, lực cản nhỏ. Ở tần số cao, lực cản uốn cong lớn, biên độ dao động của sàn bé, khả năng cách âm của sàn lớn hơn so với tần số thấp.

Có thể coi lớp mặt sàn mềm và búa va chạm như một hệ dao động để nghiên cứu tác dụng cách âm của lớp mặt mềm.

Giả sử, lớp mặt mềm tần số dao động riêng (tần số cộng hưởng) f_K, độ cứng **K**, búa khối lượng **m**, ở tần số cao hơn tần số f_K, khả năng cách âm tăng thêm ΔL, do có lớp mặt mềm bằng:

$$\Delta L = 40.\lg\frac{f}{f_K}, \text{ (dB), với } f >> f_K$$

Trong đó: f - Tần số tính toán (Hz)

f_K - Tần số cộng hưởng của lớp mặt mềm (Hz).

$$f_K = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}} \quad \text{(Hz)}$$

Giá trị ΔL càng tăng khi f càng cao và phụ thuộc vào f_K của lớp mặt mềm. ΔL là một đường thẳng nghiêng 12 dB/ốcta.

b) Cấu tạo sàn nổi trên bản sàn đặc và rỗng

Cấu tạo lớp sàn nổi (hình 10 - 25) lớp đệm đàn hồi giữa lớp sàn nổi và bản chịu lực. Lớp đệm đàn hồi có thể gián đoạn hoặc liên tục.

Vị trí của lớp đệm đàn hồi xác định khả năng cách âm, tần số cộng hưởng, độ cứng uốn cong của lớp sàn nổi trên nó.

Sử dụng trần treo hoặc trần ốp liên kết cứng với sàn và tường không đủ ngăn cách tiếng ồn va chạm, vì khi bị kích động uốn cong, các dao động uốn cong của bản chịu lực lan truyền theo vách qua trần treo vào phòng.

Theo cách bố trí lớp đệm có mấy loại sàn nổi (hình 10 - 25):

- **Sàn nổi trên đệm đàn hồi liên tục hay gián đoạn.**

- **Sàn nổi trên lớp không khí trung gian:** cách ly bản chịu lực với lớp sàn nổi bằng đệm đàn hồi đặt theo chu vi liên kết bản với tường.

- **Sàn có trần treo liên kết đàn hồi với kết cấu chịu lực.** Có khi trần treo kết hợp mang đèn chiếu sáng, trần có thể làm bằng vật liệu hút âm.

Để tránh truyền âm gián tiếp, tách lớp sàn nổi khỏi tường bằng các đệm đàn hồi, gờ chân tường chỉ liên kết với lớp sàn nổi.

Lượng cách âm tăng thêm (ΔL) do cấu tạo lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi phụ thuộc tần số dao động riêng f_1 (tần số cộng hưởng) của lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi:

$$f_1 = \frac{1}{2}\sqrt{K\frac{1}{P_1}} \quad \text{(Hz)}$$

K - độ cứng của đệm đàn hồi (kg/m³)

$$K = \frac{E_đ}{h} \quad (kg/m^3)$$

$E_đ$ - mô đuyn động của đệm đàn hồi (kg/m²) lấy theo (bảng 10 - 12).

h - chiều dày của đệm đàn hồi ở trạng thái bị nén (m), có thể tính bằng công thức:

$$h = h_0\left(1 - \frac{\sigma}{E_t}\right) \quad (m)$$

h_0 - chiều dày của đệm đàn hồi ở trạng thái không bị nén (m).

σ - ứng suất cho phép của đệm đàn hồi dưới tác dụng của tải trọng không đổi và tức thời tiêu chuẩn (ở đây tải trọng không đổi: **P**, tải trọng tức thời tiêu chuẩn: 150 kg/m² đối với nhà ở).

E_t - mô đuyn đàn hồi tĩnh của lớp đệm đàn hồi (kg/m²)

Có thể tính gần đúng: $K = \dfrac{E_đ}{h_0}$

Khi tần số tính toán: $f < f_1\sqrt{\dfrac{P_1}{P_2}}$, tức là ở những tần số thấp

$$\Delta L = 40.\lg\frac{f}{f_1}, \quad dB$$

ΔL trong biểu thức này tăng 12 dB/ốcta.

Trong cấu tạo sàn, cố gắng bảo đảm $\lambda = P_3/P_1$ bé.

Trong quá trình thiết lập các công thức trên đây, bỏ qua khả năng xuất hiện sóng đàn hồi và đặc điểm lan truyền dao động đàn hồi trong lớp đệm đàn hồi, nhất là ở tần số trung và cao.

Khi: $$f < \frac{C_1}{6h_0} \approx f_1\sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \quad (Hz)$$

Các công thức trên đây chính xác với sai số không quá 2dB

C_1 - vận tốc sóng dọc trong kết cấu

Khi: $$f \geq \frac{C_1}{6h_0} \approx f_1\sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \quad (Hz)$$

Sẽ xuất hiện hiện tượng truyền sóng trong lớp đệm, ảnh hưởng tới khả năng cách âm của sàn, khi đó theo V.I.Zaborốp:

$$\Delta L = 20.\lg\frac{f}{f_1} + \left(10.\lg\frac{P_1}{P_2} - 3\right) \quad \text{(dB)}$$

Ở đây, ΔL tăng với tốc độ 6 dB/ốcta.

Như vậy:

Ở tần số $f < f_1\sqrt{\frac{P_1}{P_2}}$ lượng cách âm tăng thêm ΔL tăng với tốc độ 12dB/ốcta.

Từ tần số $f = f_1\sqrt{\frac{P_1}{P_2}}$ trở đi, ΔL tăng với tốc độ 6 dB/ốcta. Trong phạm vi tần số này, khối lượng của đệm đàn hồi có ảnh hưởng tới khả năng cách âm của kết cấu. Nếu khối lượng của đệm giảm 2 lần, ΔL tăng 3 dB.

Thực nghiệm chứng tỏ: sử dụng đệm liên tục, giá trị ΔL so với đệm gián đoạn cao hơn 2 ÷ 3dB, nhưng để đơn giản tính toán có thể bỏ qua sự sai khác này và coi đệm gián đoạn như đệm liên tục.

6. Tính khả năng cách âm va chạm của sàn nổi trên đệm đàn hồi

Theo những phân tích trên đây có thể xây dựng phương pháp tính khả năng cách âm va chạm của sàn nổi như sau:

• ***Xác định khối lượng bề mặt của các lớp sàn,*** **(kg/m²)**:

- Lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi (kể cả lớp làm sạch) P_1
- Lớp đệm đàn hồi P_2
- Bản chịu lực P_3
- Khi có trần treo tính gồm trong P_3
- Thừa nhận các lớp sàn liên tục để tính khối lượng bề mặt.

• ***Tương ứng với cấu tạo và khối lượng bề mặt của bản chịu lực xác định đường tiêu chuẩn*** ΔL_{tc}.

• ***Tính hệ số độ cứng K của đệm đàn hồi.***

$$K = \frac{E_d}{h} \approx \frac{E_d}{h_0}$$

$$h = h_0\left(1 - \frac{\sigma}{E_t}\right)$$ - (có thể thừa nhận $h = h_0$)

• ***Tính tần số cộng hưởng f_1 (tần số dao động riêng) của lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi:***

$$f_1 = \frac{1}{2}\sqrt{K\frac{1}{P_t}} \quad \text{(Hz)}$$

Chú ý: **K** tính bằng kg/m^3 và khối lượng P_1 tính bằng kg/m^2.

• ***Tính sơ bộ giá trị ΔL_1 ở tần số thấp:*** $f < f_1 = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \approx \frac{C_1}{6h_0}$

$$\Delta L_1 = 40.\lg\frac{f}{f_1} \quad \text{(dB)}$$

ΔL_1 là một đường thẳng nghiêng 12 dB/ốcta

• ***Tính ΔL_2 ở tần số trung và cao:*** $f \geq f_1\sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \approx \frac{C_1}{6h_0}$

$$\Delta L_2 = 20.\lg\frac{f}{f_1} + \left(10.\lg\frac{P_1}{P_2} - 3\right), \quad \text{(dB)}$$

ΔL_2 là một đường thẳng nghiêng 6dB/ốcta

• ***Trên cơ sở những số liệu đã biết, lập đường đặc tính tần số của ΔL phương pháp như sau:***

- Dựng toạ độ vuông góc, trục hoành đặt tần số theo tỷ lệ 15 mm/ốcta. Toàn miền tần số yêu cầu cách âm (100 Hz ÷ 3200 Hz) chia thành 5 ốcta cách đều nhau, mỗi ốcta chia làm ba phần, mỗi phần 1/3 ốcta.

Tung độ đặt giá trị ΔL, tỷ lệ 20mm/10dB (hình 10 - 27).

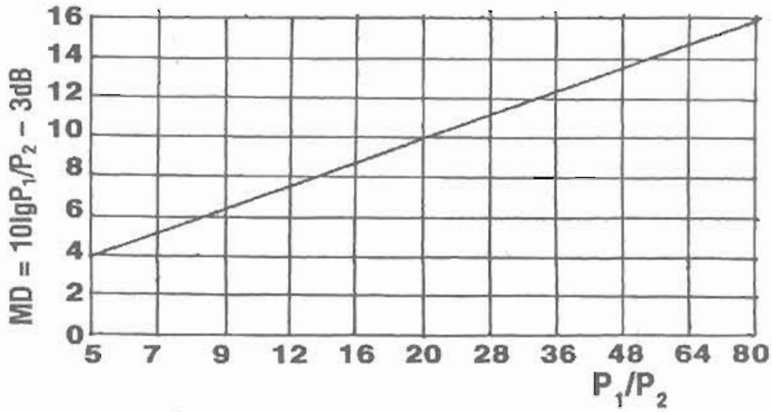
- Dựng đường cong ΔL_{tc}.

- Dựng đường thẳng ΔL_1:

- Trước tiên xác định tọa độ điểm **M** (**0**; f_1). Từ **M** vạch đường thẳng nghiêng 12 dB/ốcta.

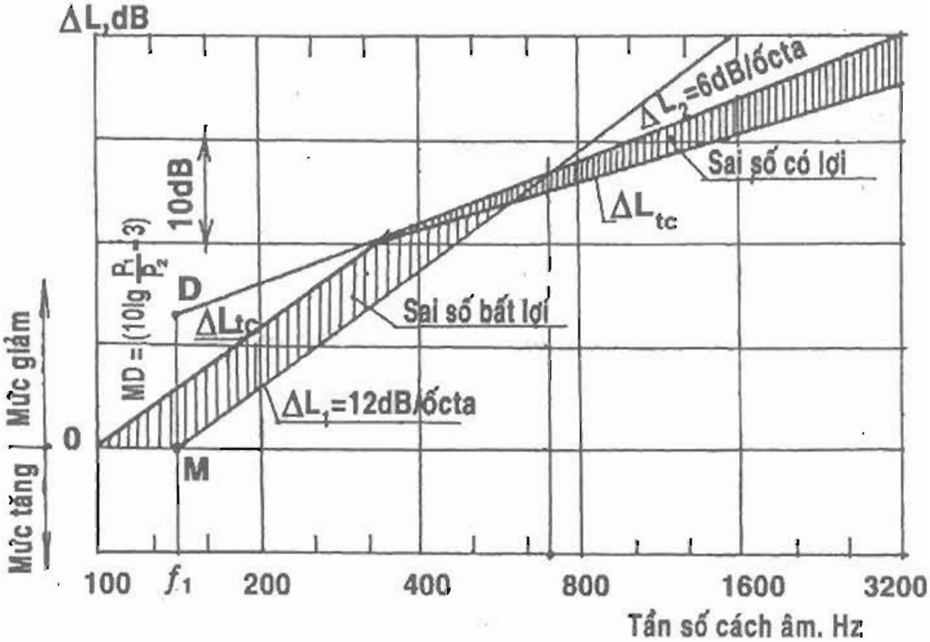
- Dựng đường thẳng ΔL_2: Từ **M** vạch thẳng đứng **MD**, có thể xác định theo toán đồ (hình 10 - 26).

$$MD = 10.\lg\frac{P_1}{P_2} - 3 \text{ (dB) phụ thuộc tỷ số } P_1/P_2$$



Toán đồ để tính $MD = 10\lg P_1/P_2 - 3dB$

Hình 10 - 26. Toán đồ để tính MD



Hình 10 - 27. Đường đặc tính tần số độ giảm mức ồn tính toán so với ΔL_{tc}

Từ **D** vạch đường thẳng nghiêng 6 dB/ốcta.

Đường ΔL_1 và ΔL_2 phải cắt nhau, giao điểm giữa hai đường thẳng này xác định giới hạn tần số thấp với tần số trung cao. Chú ý ΔL_1 ở tần số thấp.

• So sánh đường đặc tính tần số ΔL tính toán với ΔL_{tc}. Cấu tạo sàn đạt yêu cầu cách âm va chạm nếu như đường cong ΔL tính toán nằm cao hơn đường tiêu chuẩn về phía mức giảm.

Bảng 10 - 12. Giá trị E_t, E_d và σ của một số vật liệu

Tên vật liệu	Khối lượng riêng γ (kg/m³)	$h_{0.min}$ (mm)	Tải trọng không đổi P (kg/m²)	E_t (kg/m²)	E_d (kg/m²)	σ (kg/m²)
Tấm sơ dừa	50	30	200	1500	45000	1.10^3
	50	30	500	1500	75000	"
	50	30	1000	3000	120000	"
Tấm sợi gỗ mềm	250	25	200	30.10^3	14.10^4	4.10^3
	250	25	500	"	19.10^4	"
	250	25	1000	"	25.10^4	"
	250	25	1500	"	31.10^4	"
	250	25	2000	"	37.10^4	"
Tấm bông thuỷ tinh	150	30	500	2.10^3	88.10^3	1.10^3
	150	30	1000	3.10^3	153.10^3	"
Tấm bông khoáng, bông thuỷ tinh kết dính tổng hợp	50	40	200	$1.5.10^3$	17.10^3	1.10^3
	50	40	500	2.10^3	38.10^3	"
	50	40	1000	3.10^3	73.10^3	"
	100	40	200	$1.5.10^3$	30.10^3	2.10^3
	100	-	500	2.10^3	55.10^3	"
	100	-	1000	3.10^3	97.10^3	"
	100	-	1500	4.10^3	139.10^3	2.10^3
	150	-	200	$1.5.10^3$	48.10^3	3.10^3
	150	-	500	2.10^3	88.10^3	"
	150	-	1000	3.10^3	153.10^3	"
	150	-	1500	4.10^3	218.10^3	"
Bông khoáng bọc trong giấy bông khoáng, kết dính tổng hợp	100	30	200	$1.5.10^3$	30.10^3	1.10^3
	100	30	500	2.10^3	55.10^3	"
	100	30	1000	3.10^3	97.10^3	"

7. Cửa đi – Cửa sổ cách âm

Trong kết cấu cách âm hỗn hợp, lượng cách âm của cửa đi, cửa sổ kém nhất.

Thông thường, dù liên kết cửa rất kín, lượng cách âm của cửa cũng chỉ khoảng 20 dB, bằng 50% lượng cách âm của tường. Cấu tạo cửa đi cách âm hai lớp có lớp đệm, lớp bọc, lượng cách âm cũng khoảng 30 dB.

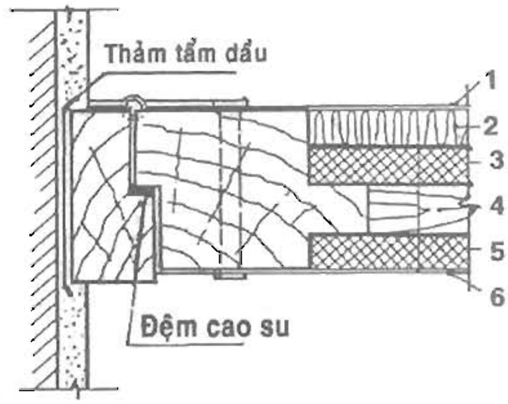
Cửa sổ khả năng cách âm kém hơn cửa đi.

Nguyên nhân dẫn tới khả năng cách âm của cửa kém, ngoài xử lý cấu tạo cửa không thỏa đáng, còn có khe hở tiếng ồn lọt qua. Chủ yếu do khối lượng của cửa nhẹ, không đủ ngăn cách âm dao động. Do đó, muốn tăng khả năng cách âm của cửa, trước tiên tăng chiều dày và khối lượng bề mặt của cửa, kính cửa, thứ đến bảo đảm cấu tạo và liên kết cửa kín.

7.1. Cấu tạo cửa đi cách âm

- *Cửa gỗ cách âm một lớp* (hình 10 - 28)

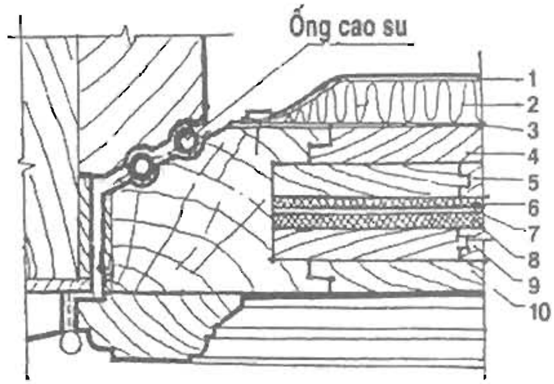
1. Gỗ dán 5mm
2. Thảm bông thủy tinh 250mm
3. Tấm sợi ép 200 mm
4. Gỗ ván 300 mm
5. Tấm sợi ép 200 mm
6. Gỗ ván 5 mm



Hình 10 - 28. Cửa gỗ cách âm 1 lớp

Hiệu quả cách âm tốt nhờ lớp không khí trung gian dày 5 – 10cm. Lớp không khí mỏng sẽ mất tác dụng, khi đó hai lớp cửa sẽ hợp thành một hệ dao động, dao động cùng pha. Khả năng cách âm của cửa chủ yếu do khối lượng. Cửa rỗng bên trong cách âm rất kém.

Cấu tạo cửa nhiều lớp, các lớp cách nhau một lớp vật liệu xốp mềm. Nếu cấu tạo hai lớp gỗ ván, hai lớp gỗ thẳng đứng, song song nhau, xen giữa lớp bông thủy tinh mềm, hoặc thảm sợi, v.v... (hình 10 - 29).



Hình 10 - 29. Cấu tạo cửa cách âm 2 lớp

- *Cửa gỗ cách âm hai lớp* (hình 10 - 29)

1. Vải bọc
2. Thảm thủy tinh
3. Gỗ dán 5 mm
4. Gỗ ván 17 mm (tạo phẳng)
5. Gỗ ván ghép mộng 15mm
6. Tấm sợi ép 5mm
7. Tấm kim loại 5mm
8. Tấm sợi ép 5mm
9. Gỗ ván ghép mộng 15mm
10. Gỗ tạo phẳng 17mm

Loại cửa này hiệu quả cách âm rất cao.

Cấu tạo khá phức tạp, các lớp vật liệu sắp xếp xen kẽ nhau, đặc biệt ở giữa, sử dụng một tấm kim loại nặng đặc chắc. Lượng cách âm của loại cấu tạo này đạt 40 dB.

Cửa hai cánh bình thường bằng gỗ dán, lượng cách âm 10 – 12 dB, nếu cửa một cánh, lượng cách âm 15 dB. Cửa đi một cánh liên kết kín bốn chung quanh, cửa day 4 cm, lượng cách âm 26 – 28 dB. Cửa cách âm một cánh cấu tạo nhiều lớp, lượng cách âm khoảng 30 dB nếu liên kết kín với tường, đồng thời tăng cường vật liệu hút âm giữa tường và khung cửa, lượng cách âm có thể đạt tới 40 dB.

7.2. Xử lý khe hở của cửa

Chèn khe lắp ghép giữa khung với tường, giữa khung với cánh cửa bằng vật liệu mềm, đàn hồi.

Lưu ý, trong quá trình sử dụng, vật liệu đệm này lão hóa hoặc biến dạng, xuất hiện khe hở mới, giảm lượng cách âm của cửa.

7.3. Cấu tạo cửa sổ cách âm

Lượng cách âm của cửa sổ quyết định do chiều dày của kính cửa (khối lượng bề mặt của kính cửa). Tần số của tiếng ồn lớn hơn tần số dao động riêng của kính cửa, rất dễ ngăn cách.

Cửa sổ một lớp kính: Kính dày 6 mm (ly) lượng cách âm có thể đạt 31 dB, kính dày 3 ly lượng cách âm 28 dB.

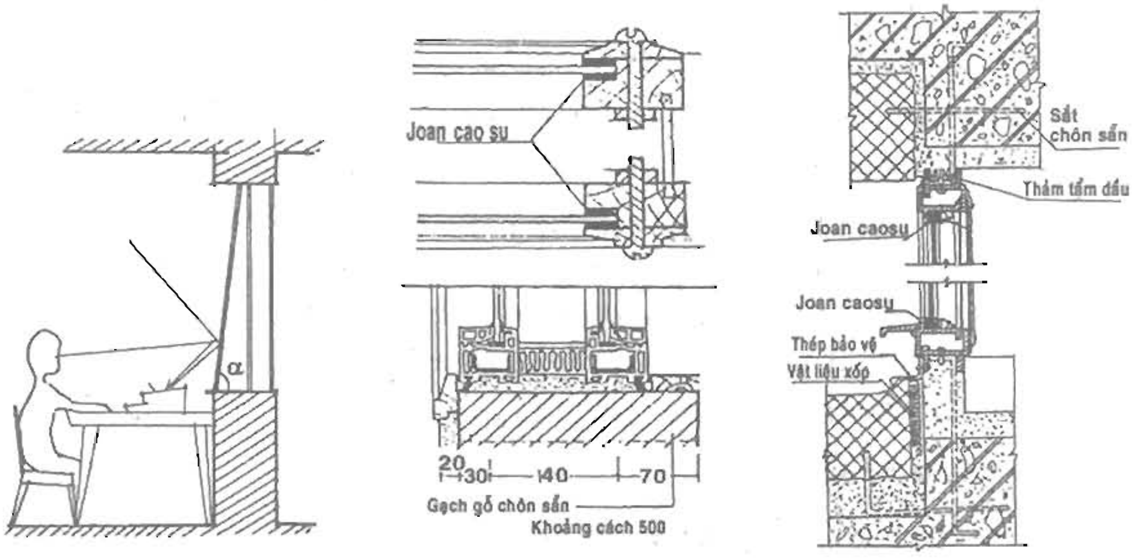
Khi yêu cầu cách âm cao, thiết kế cửa hai hoặc ba lớp kính, hình thành lớp không khí trung gian, tăng khả năng cách âm của cửa. Chiều dày lớp không khí nhỏ hơn 5 ly, không có tác dụng, chiều dày 10 ly, lượng cách âm tăng 3 dB, chiều dày 150 ly, lượng cách âm tăng 10 dB. Cửa sổ quan trắc của phòng điều khiển phát thanh, sử dụng loại cửa sổ này (hình 10 - 30).

Khi lắp kính, xử lý đệm, chèn, joan kín chắc, lượng cách âm tăng thêm 4 – 5 dB.

Sử dụng kính ba lớp, lượng cách âm có thể đạt 50 – 55 dB. Chu vi lớp không khí trung gian, theo khung cửa, đặt vật liệu hút âm, hiệu quả cách âm cao hơn.

Cấu tạo hai hay ba lớp kính, lưu ý sự lan truyền âm do tần số dao động riêng (tần số cộng hưởng) của kính, nhất là trường hợp chiều dày các lớp kính giống nhau, lắp đặt song song, lớp

không khí trung gian không đổi chiều dày, sẽ dao động cùng pha với nhau, chỉ cần xử lý nghiêng mặt kính tiếp xúc với nguồn ồn, góc nghiêng $\alpha = 35^0$, hướng ra ngoài, để sóng âm phản xạ ngoài vùng làm việc của nhân viên. Nên cấu tạo ba lớp kính chiều dày khác nhau từ 8 – 15 ly, kính càng dày bố trí càng gần nguồn ồn.



2 lớp cửa cách âm — 1 lớp cửa kim loại cách âm

Hình 10 - 30. Cửa sổ cách âm

7.4. Phương pháp gần đúng để lập đường đặc tính tần số cách âm của bản phẳng bằng kính, kim loại và những vật liệu tương tự

Tương tự phương pháp lập đường đặc tính tần số cách âm đối với tường, vách phẳng 1 lớp đồng nhất. Đường đặc tính tần số cách âm của bản phẳng bằng kính, kim loại, v.v... là một đường gãy **ABCD**.

- Tọa độ điểm **B** - **C** xác định theo số liệu ghi trong (bảng 10 -13)

Bảng 10 - 3

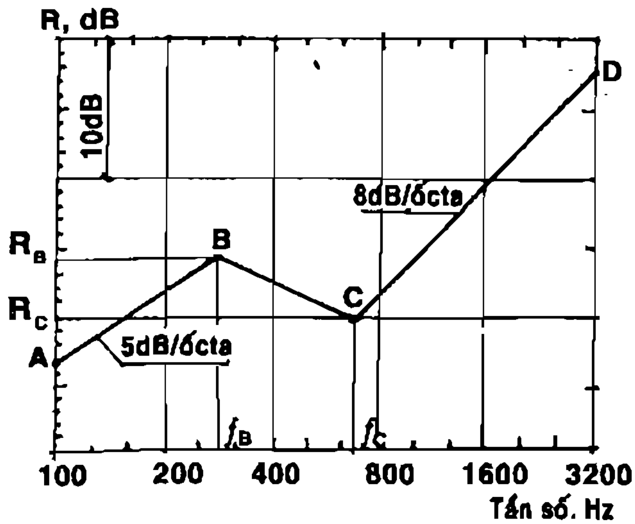
Vật liệu	f_B (Hz)	f_C (Hz)	R_B (dB)	R_C (dB)
Thép	6000/h	12.000/h	39	31
Hợp kim nhôm	6000/h	12.000/h	32	22
Kính silicat	6000/h	12.000/h	35	29
Kính hữu cơ	17.000/h	34.000/h	37	30
Tấm ciment	11.000/h	20.000/h	36	30

Trong bảng, **h** – chiều dày của bản (không tính gờ), mm.

- Từ toạ độ điểm **B** (f_B , R_B):

Dựng về bên trái **B** đoạn thẳng nghiêng 5 dB/ốcta, đối với kính hữu cơ và kính silicat. Và 4 dB/ốcta đối với vật liệu khác. Từ **C**, bên phải, dựng đoạn **CD** nghiêng 8 dB/ốcta.

- Tỷ lệ của hệ tọa độ, trục hoành 15 mm/1Oốcta. Trục tung 20 mm/10dB, (hình 10 - 31).



Hình 10 - 31. Đường đặc tính tần số cách âm của kính và kim loại phẳng

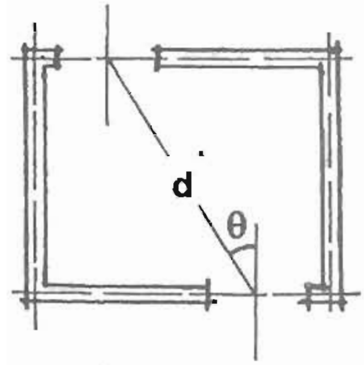
7.5. Phân cấp tính năng cách âm của cửa sổ ngoài

Bảng 10 - 14

Cấp	Phạm vi R_{tt}, dB	Kiểu cửa sổ
I	$R_{tt} \geq 45$	2 lớp cửa sổ cố định, 2 lớp cửa sổ mở ngang
II	$45 \geq R_{tt} \geq 40$	2 lớp cửa sổ nhôm, nhựa mở ngang và cửa cố định
III	$40 \geq R_{tt} \geq 35$	Cửa sổ kính gập, 2 lớp cửa nhôm mở ngang
IV	$35 \geq R_{tt} \geq 30$	Cửa sổ kính lớp không khí ở giữa, khung nhôm, nhựa mở ngang và cố định
V	$30 \geq R_{tt} \geq 25$	Cửa sổ nhôm, nhựa, kim loại mở ngang
VI	$25 \geq R_{tt} \geq 20$	Cửa sổ kim loại mở ngang, cửa sổ lùa bộ phận.

7.6. Tính lượng cách âm R của cửa đi hai lớp

Tương tự như đối với tường 2 lớp, có thể sử dụng công thức tính lượng cách âm của tường 2 lớp để tính **R** của cửa đi 2 lớp (hình 10 - 32).



Hình 10 - 32

Khi mở rộng khoảng cách giữa 2 cửa đi sẽ hình thành không gian đệm, đồng thời bố trí vật liệu hút âm trong đó, không gian đệm như một hộp tiêu âm, khả năng cách âm tăng lên rõ rệt.

Lượng cách âm tăng thêm **N** do hộp tiêu âm, có thể xác định bằng công thức:

$$N = 10.\lg \frac{1}{S\left(\frac{\cos\theta}{2\pi.d^2} + \frac{1-\bar{\alpha}}{A}\right)} \quad \text{(dB)}$$

Trong đó: **S** – Diện tích cánh cửa, m^2

θ – Góc tạo bởi đoạn thẳng d nối 2 tâm cửa với pháp tuyến của mặt cửa.

d – Khoảng cách giữa 2 tâm cửa, m.

$\bar{\alpha}$ – Hệ số hút âm trung bình của các bề mặt trong hộp tiêu âm.

A – Tổng lượng hút âm của hộp tiêu âm, m^2

VI. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ THIẾT KẾ KẾT CẤU CÁCH ÂM

1. Hiệu quả cách âm của kết cấu

Khả năng cách âm của tường và vách, đánh giá bằng chỉ số cách âm không khí L_K. Chỉ số này xác định trên cơ sở so sánh đặc tính tần số cách âm tính toán hay đo đạc với đặc tính tần số cách âm tiêu chuẩn.

Khả năng cách âm của sàn giữa các tầng, đánh giá bằng hai chỉ số: chỉ số cách âm không khí L_K và chỉ số cách âm va chạm L_V. Hai chỉ số này xác định trên cơ sở so sánh đặc tính tần số cách âm tính toán hay đo đạc với đặc tính tần số cách âm tiêu chuẩn.

Phương pháp so sánh như sau:

- Mang đường cong đặc tính tần số cách âm tính toán hay đo đạc đặt trên đường cong tiêu chuẩn tương ứng.

- Xác định độ lệch giữa đường cong tính toán (hay đo đạc) với đường tiêu chuẩn ở tất cả các tần số trung bình của dải 1/3 ốcta (16 tần số).

+ Khi xác định chỉ số L_K độ lệch được gọi là tốt nếu đường đặc tính tính toán (hay đo đạc) nằm cao hơn đường tiêu chuẩn, không đạt nếu nằm thấp hơn đường tiêu chuẩn R_{tc}.

+ Khi xác định chỉ số L_V độ lệch được gọi là tốt nếu đường đặc tính tính toán (hay đo đạc) nằm thấp hơn đường tiêu chuẩn, không đạt nếu nằm cao hơn đường tiêu chuẩn .

Bảng 10 - 15. Chỉ tiêu E_K, E_V tiêu chuẩn (tham khảo)

Công trình	Kết cấu cách âm	Chỉ tiêu cách âm (dB)	
		E_K	E_V
Nhà ở	Tường vách giữa các hộ	- 1	
	Tường của các hộ với buồng cầu thang	- 1	
	Vách giữa phòng ở với khu vệ sinh trong hộ	- 5	
	Vách không có cửa đi giữa các phòng trong hộ	- 9	
	Sàn giữa các hộ	- 1	0
	Sàn giữa các hộ và tầng hầm	- 1	0
Nhà ở tập thể, khách sạn, nhà hành chính	Tường, vách giữa các phòng ở trong nhà ở, trong khách sạn. Giữa các phòng làm việc với các phòng khác trong nhà hành chính.	- 5	
	Sàn giữa các phòng trên.	- 5	5
Bệnh viện, nhà an dưỡng	Tường, vách giữa các phòng bệnh nhân	5	
	Phòng phẫu thuật, phòng đọc sách trong nhà an dưỡng, phòng công cộng, buồng cầu thang.	- 1	
	Sàn giữa các phòng bệnh nhân.	- 5	- 5
	Sàn giữa các phòng phẫu thuật với các phòng khác, giữa phòng bệnh nhân, phòng bác sĩ với các phòng công cộng.	- 1	0
Trường học (Trừ trường âm nhạc)	Tường, vách giữa các lớp học, giảng đường.	- 5	- 5
	Tường vách giữa lớp học, giảng đường với buồng cầu thang, phòng ngoài .	1	
	Sàn giữa các lớp học, giảng đường	- 5	- 5
	Sàn giữa các lớp học, giảng dương với phong ngoai..	- 1	0
Nhà trẻ mẫu giáo	Tường, vách giữa các nhóm phòng, giữa cac phong	5	
	Sàn giữa các phòng.	- 5	- 5

Để tính giá trị số L_K và L_V chỉ tính giá trị (dB) của những độ lệch không tốt (bất lợi). Đối với độ lệch (dB) của hai tần số ở đầu mút (100Hz và 3200Hz, nếu có) chỉ lấy một nửa giá trị. Trên cơ sở giá trị (dB) của những độ lệch không tốt xác định "độ lệnh bất lợi".

Có 2 phương pháp xác định độ lệch bất lợi:

- **Độ lệch trung bình bất lợi**
- **Tổng độ lệch bất lợi**

1.1. "Độ lệnh trung bình bất lợi" bằng tổng đại số những độ lệch không tốt chia cho 15 dải 1/3 ốcta.

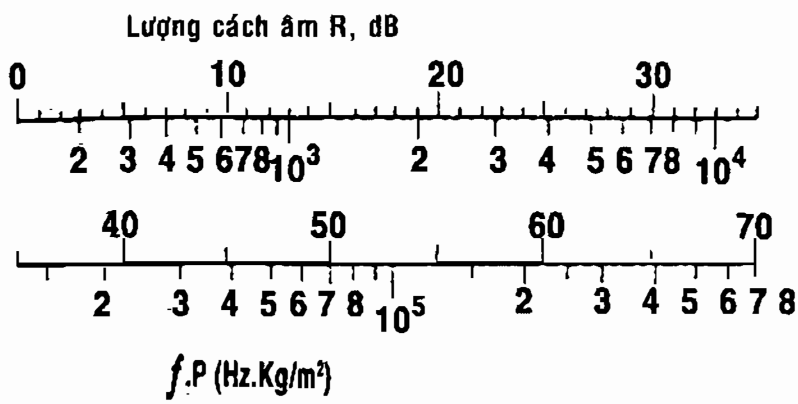
Nếu "độ lệch trung bình bất lợi" ≤ 2dB, chỉ số L_K hay L_V coi bằng 0 – đạt yêu cầu. Nếu > 2dB, xê dịch đường tiêu chuẩn theo hướng thẳng đứng đến gần đường tính toán, xê dịch một số nguyên dB đến khi nào "độ lệch trung bình bất lợi" ≤ 2 dB. Khi đó số nguyên dB xê dịch gọi là chỉ tiêu cách âm E_K và E_V .

Như vậy, chỉ tiêu cách âm có thể có giá trị bất lợi (không tốt) và có lợi (tốt), chỉ tiêu cách âm E_K và E_V sẽ lấy dấu (–) khi đường đặc tính tần số tính toán (hay đo đạc) nằm về phía không tốt và lấy dấu (+) khi nằm về phía tốt (bảng 10 - 15).

Thí dụ:

Lập đường đặc tính tần số cách âm không khí của tường gạch dày 11,5cm. Mật độ bề mặt của tường **m** = 18 kg/m^2.cm.

Giải:



Hình 10 - 13. Toán đồ quan hệ giữa lượng cách âm R và (f.m)

Xác định khối lượng bề mặt của tường **P**:

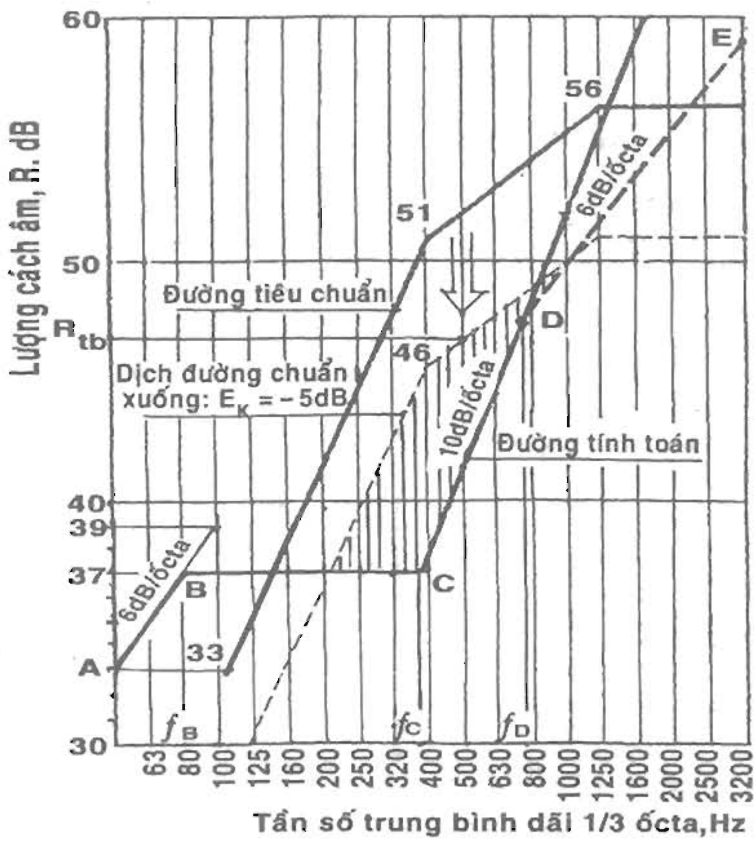
$$P = m \times 11,5 = 18 \times 11,5 = 207 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Xác định đoạn nghiêng 6dB/ốcta, ở tần số f = 100 Hz:

$$f.P = 100 \times 207 = 20.700 \text{ (Hzkg)}$$

Toán đồ (hình 10 - 13) cho **R**:

$$R = 20\lg P.f - 47,5 = 39 \text{ (dB)}$$



Hình 10 - 33. Thí dụ so sánh kết quả tính toán với tiêu chuẩn

Từ giao điểm f = 100 Hz và **R** = 39 dB dựng đoạn nghiêng 6 dB/ốcta, xác định điểm **A**, tần số f_A. Xác định đoạn thẳng nằm ngang **BC**:

Từ bảng 10 - 16 tìm chiều cao **h** đoạn **B - C** nằm ngang: Tường gạch, **h** = 37 dB, dựng đoạn thẳng nằmg ngang, cao **h** = 37 dB (hình 10 - 33).

Đoạn thẳng nằm ngang cắt đoạn thẳng nghiêng 6 dB/ốcta tại **B**, xác định được f_B = 80 Hz.

Bảng 10 - 16. Số liệu để tính R của vật liệu

Vật liệu	Mật độ bề mặt ($kg/m^2.cm$)	Chiều cao h đoạn B - C	Chiều rộng đoạn B - C f_C/f_B
Bêtông	24	38	4,5
Thuỷ tinh	25	27	10
Vữa ximăng	18	30	8
Ván ép (gỗ dán)	6	19	6,5
Gạch	18	37	4,5
Khối xây xỉ	14	30	6,5

Thí dụ tính chỉ số cách âm không khí E_X

Tần số (Hz)	Tính năng cách âm (dB)	Tiêu chuẩn (dB)	Sai lệch tiêu chuẩn (dB)	Dịch tiêu chuẩn 5dB về phía bất lợi, (dB)	(5) −(2)
100	37,0	33,0	+ 4,0	28,0	-
125	37,0	36,0	+ 1,0	31,0	-
160	37,0	38,0	− 2,0	34,0	-
200	37,0	42,0	− 5,0	37,0	,0
250	37,0	45,0	− 8,0	40,0	3,0
320	37,0	48,0	− 11,0	43,0	6,0
400	38,0	51,0	− 13,0	46,0	8,0
500	41,3	52,0	− 10,7	47,0	5,7
640	44,7	53,0	− 8,3	48,0	3,3
800	48,3	54,0	− 5,7	49,0	0,7
1000	51,7	55,0	− 3,3	50,0	-
1250	55,0	56,0	− 1,0	51,0	-
1600	58,8	56,0	+ 2,8	51,0	-
2000	62,0	56,0	+ 6,0	51,0	-
2500	65,2	56,0	+ 9,2	51,0	-
3200	68,5	56,0	+ 12,5	51,0	-
Tổng sai số:					26,7
Tổng sai số / 15:					< 2,0

- Xác định chiều rộng **BC** (bảng 10 - 16), cho tỷ lệ f_C/f_B = 4,5

$$f_C = 4{,}5.f_B = 4{,}5 \times 80 = 360 \text{ (Hz)}$$

Từ f_C = 360 Hz, dóng lên gặp đường thẳng nằm ngang, xác định được **C.**

- Dựng đoạn **CD** nghiêng 10 dB/ốcta. Từ **D**, dựng **DE** nghiêng 6 dB/ốcta. **ABCDE** là đường đặc tính tần số cách âm không khí của tường gạch 11,5cm.

- Kiểm tra kết quả tính toán so với tiêu chuẩn.

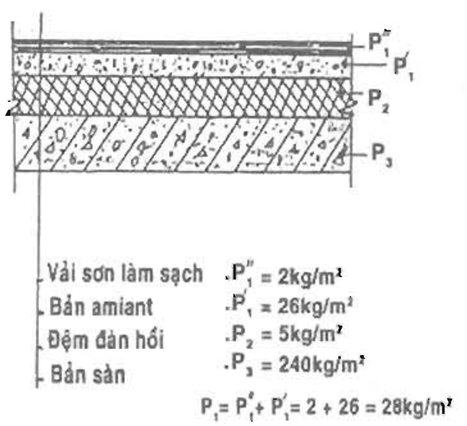
Xê dịch thẳng đứng đường chuẩn về phía đường tính toán, với chỉ tiêu E_K = – 5dB, cho giá trị trung bình bất lợi < 2dB. Khả năng cách âm của bức tường phù hợp với khách sạn, nhà trẻ, trường mẫu giáo, nhà hành chính.

Thí dụ:

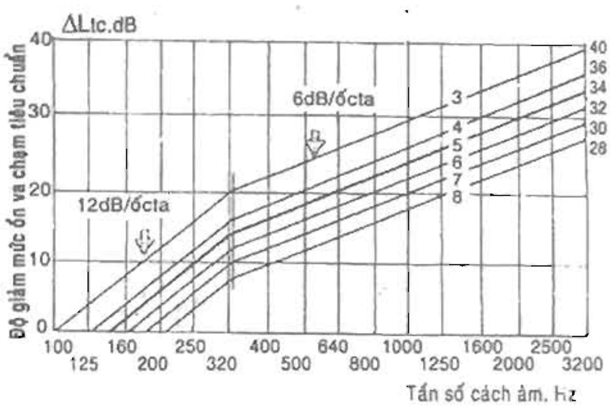
Thiết kế ngăn cách tiếng ồn va chạm cho sàn giữa các tầng, sàn cấu tạo như sau:

Bản bê tông cốt thép chịu lực dày 0,1m, P_3 = 240 kg/m^2.

Đệm đàn hồi bằng tấm sợi gỗ mềm dày 0,025m, P_2 = 5 kg/m^2.



Hình 10 - 34. Cho thí dụ



Tiêu chuẩn độ giảm mức ồn va chạm - ΔLtc.dB

Dựng lại hình 10 – 23c. Đường cong tiêu chuẩn độ giảm mức ồn va chạm ΔL_{tc}, dB

Bản xi măng amiăng dày 0,015m, P_1' = 26 kg/m^2.

Vải sơn làm sạch P_1'' = 2 kg/m^2 (P_1 = P_1' + P_1'' = 28 kg/m^2) (hình 10 - 34).

Giải:

Xác định đường cong ΔL_{tc}:

Bản chịu lực $P_3 = 240$ kg/m² sử dụng đường *tiêu chuẩn* 5 (hình 10 – 23c).

Tính độ cứng **K** của đệm đàn hồi.

Gỗ mềm $E_đ = 14.10^4$ kg/m² (bảng 10 - 12).

$$K = \frac{E_đ}{h_0} = \frac{14.10^4}{0,025} = 5,6 \times 10^6 \quad (kg/m^3)$$

Tính tần số cộng hưởng của lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi:

$$f_1 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{K}{P_1}} = 0,5\sqrt{\frac{5,6 \times 10^6}{28}} = 223 \quad (Hz)$$

Tính giá trị ΔL_1:

$$\Delta L_1 = 40.lg\frac{f}{f_1} = 40.lg\frac{f}{223} \quad (dB)$$

Đồ *thị* của ΔL_1 là một đường thẳng nghiêng 12 dB/ốcta.

Tại điểm **M (0; f_1) = M (0; 223)**, vạch một đường thẳng nghiêng 12 dB/ốcta (hình 10 - 35).

Tính giá trị ΔL_2:

$$\Delta L_2 = 20.lg\frac{f}{f_1} + 10.lg\frac{P_1}{P_2} - 3 \quad (dB)$$

Trong đó:

$$MD = (10.lg\frac{P_1}{P_2} - 3) = 10.lg\frac{28}{5} - 3 = 4,5 \quad (dB)$$

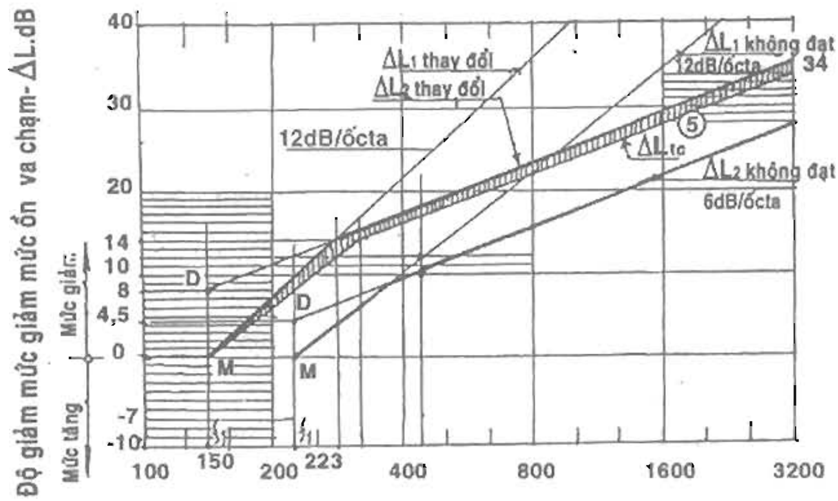
Từ **D** vạch đường thẳng nghiêng 6 dB/ốcta.

Dựng đường đặc tính tần số.

- Đường ΔL_{tc} – đường 5.
- Đường ΔL tính toán nằm thấp hơn đường tiêu chuẩn, độ lệch trung bình bất lợi vượt quá 2dB.

Để nâng cao khả năng cách âm của sàn phù hợp với tiêu chuẩn, có thể hoặc là tăng khối lượng của lớp sàn trên đệm đàn hồi hoặc thay đổi tấm sợi gỗ bằng vật liệu đàn hồi cao hơn.

Nếu thay lớp sàn nổi bằng tấm bê tông thạch cao dày 0,05m. khối lượng 60kg/m², lớp vải sơn phía trên vẫn giữ nguyên, như vậy $P_1 = 62$kg/m², $P_2 = 5$kg/m², $P_3 = 240$kg/m².



Hình 10 - 35. Cho thí dụ

Tần số cộng hưởng của lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi:

$$f_1 = 0,5\sqrt{\frac{5,6.10^6}{62}} = 150 \quad \text{(Hz)}$$

Dựng lại đường ΔL_1 và ΔL_2 , tương tự như trên:

$$MD = (10.\lg\frac{P_1}{P_2} - 3) = 10.\lg\frac{62}{5} - 3 = 8 \quad \text{(dB)}$$

Đường đặc tính ΔL này nằm trên đường tiêu chuẩn, độ lệch trung bình có lợi nhỏ hơn 2dB, do đó đạt yêu cầu cách âm va chạm đối với nhà ở ($E_V = 0$).

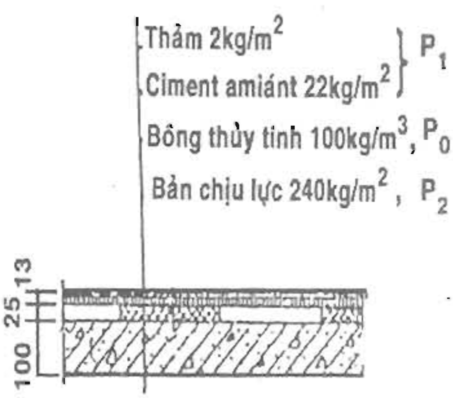
Giá trị ΔL càng cao so với đường chuẩn càng tốt, nhưng cao quá nhiều lãng phí, tốn kém không cần thiết.

Thí dụ: Kiểm tra khả năng cách âm của sàn giữa các căn hộ. Cấu tạo sàn như hình 10 - 36.

Giải:

Xác định khối lượng bề mặt:

$$P = P_2 + P_0 + P_1 = 240 + (0,025.100) + (22 + 2)$$
$$= 266,5 \text{ kg/m}^2$$



Hình 10 – 36. Cho thí dụ

Dựng đường ΔL_{tc} – theo **P** = 266,5kg/m², đường ΔL_{tc} số 5.

Tính độ cứng **K** của đệm đàn hồi (bảng 10 - 17), cho bông thuỷ tinh, **E** = 2,6kg/m².

Chiều cao của đệm đàn hồi **h** = 2,5cm:

Bảng 10 - 17. Khối lượng P, moduyn đàn hồi E của một số vật liệu

Vật liệu	P.kg/m³	E - Kg/cm²
Tấm sợi gỗ mềm	200	7
Tấm sợi thủy tinh	100	2,6
Xốp chất dẻo	40	2,5
Sợi amiang	150	18

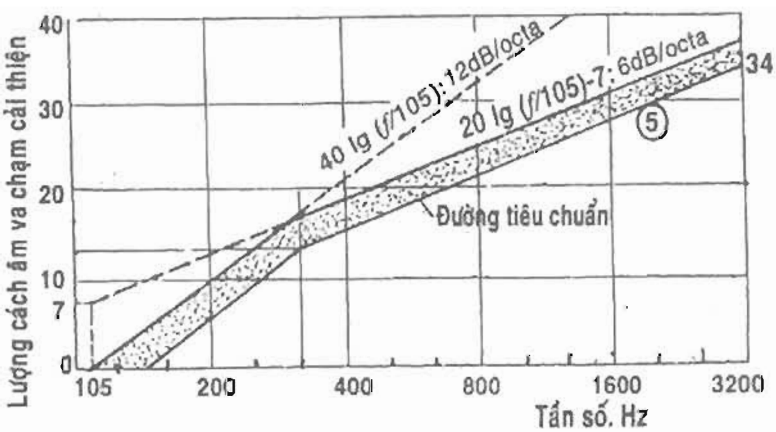
$$K = \frac{E}{h} = \frac{2,6}{2,5} = 1,04 \quad (kg/cm^3)$$

Tần số cộng hưởng f_0 của lớp mặt sàn (P_1 = 2 + 22 = 24) trên đệm đàn hồi

$$f_0 = 500\sqrt{K/P_1} = 500\sqrt{\frac{1,04}{24}} = 105 \quad (Hz)$$

Giá trị ΔL ở tần số thấp:

$$\Delta L = 40.lg(\frac{f}{f_0}) = 40.lg\frac{f}{105}$$



Hình 10 - 37. Thí dụ tính lượng cách âm va chạm cải thiện đối với sàn

Đồ thị của phương trình, tọa độ gốc tại f_0 = 105Hz, ΔL = 0dB, nghiêng 12 dB/ốcta.

Giá trị ΔL ở tần số trung và cao:

$$\Delta L = 20.\lg\frac{f}{f_0} + 10.\lg\frac{P_1}{P_0} - 3 \quad (dB)$$

$$= 20.\lg\frac{f}{105} + 10.\lg\frac{22+2}{0,025.100} - 3 = 20\lg\frac{f}{105} - 7 \quad (dB)$$

Đồ thị của phương trình, gốc tại f_0 = 105Hz, ΔL = 7dB, nghiêng 6 dB/ốcta.

Lớp làm sạch có thể bỏ qua.

Đặc tính tần số độ giảm mức ồn ΔL của sàn trong 3 miền tần số thấp, trung và cao như hình 10 - 37.

So sánh kết quả tính toán với tiêu chuẩn, xác định giá trị trung bình bất lợi đảm bảo ≤ 2dB, thoả mãn yêu cầu, giống như thí dụ trên.

1.2. Tổng độ lệch bất lợi

Tương tự phương pháp xác định độ lệch trung bình bất lợi, so sánh kết quả tính toán (hoặc đo đạt) với tiêu chuẩn, bằng cách xê dịch thẳng đứng đường chuẩn về phía đường tính toán một số nguyên dB, cho đến khi thỏa mãn 2 điều kiện sau:

- Tổng những sai số bất lợi, nếu với dải 1/3 ốcta, không lớn hơn 32dB ($\not>$ 32dB), nếu với dải 1ốcta, không lớn hơn 10dB ($\not>$ 10dB).

- Sai số bất lợi lớn nhất của tần số bất kỳ trong dải tần số cách âm, nếu lập với dải 1/3 ốcta không lớn hơn 8dB ($\not>$ 8dB), nếu lập với dải 1 ốcta, không lớn hơn 5dB ($\not>$ 5dB), (hình 10 - 38).

Tại vị trí thỏa mãn điều kiện trên, đọc lương cách âm **R** của đường chuẩn tại tần số f = 500Hz, giá trị **R** này gọi là lượng cách âm không khi tính toán R_{tt}, nếu cách âm va chạm, gọi là mức âm va chạm tính toán tiêu chuẩn hóa L_{vtt}.

2. Chỉ tiêu cách âm không khí (E_K) của sàn có lớp sàn nổi và tường có lớp dễ uốn

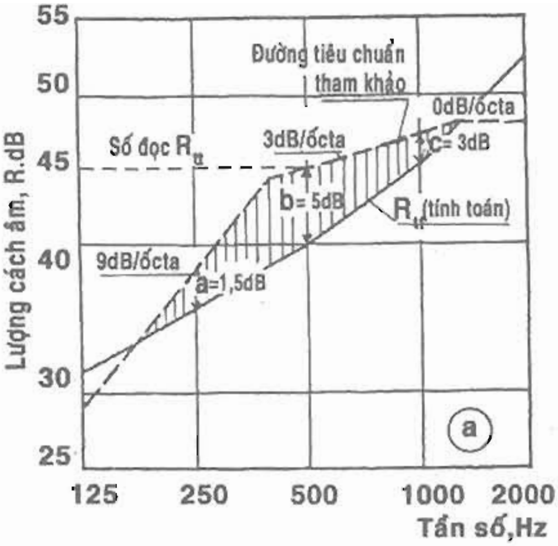
Đối với sàn và tường nhiều lớp, chỉ tiêu cách âm không khí (E_K), theo V.I.Zaborốp:

$$E_K = E_{Kd} + \Delta E_K \quad (dB)$$

Trong đó:

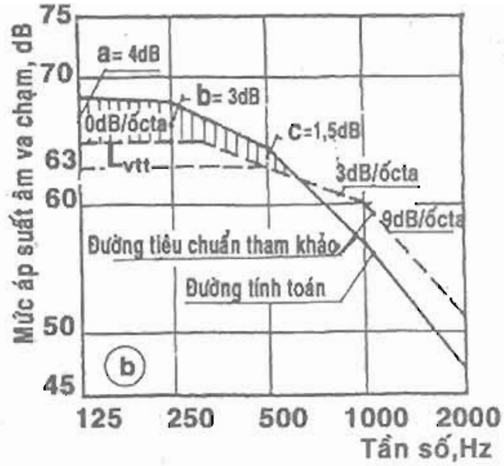
E_{Kd} – Chỉ tiêu cách âm không khí của kết cấu chịu lực, dB.

ΔE_K – Chỉ tiêu cách âm tăng thêm do tác dụng của lớp đàn hồi, dB.



ⓐ Lượng cách âm không khí tính toán R_{tt} = 45dB
Sai số bất lợi lớn nhất b = 5dB.
Tổng sai số bất lợi a + b + c = 9,5 dB < 10dB.

Thí dụ xác định lượng cách âm không khí tính toán



ⓑ Mức áp suất âm va chạm tính toán tiêu chuẩn hóa L_{vtt} = 63dB
Sai số bất lợi lớn nhất a = 4dB
Tổng độ lệch bất lợi a + b + c
= 4 + 3 + 1,5 = 8,5 dB < 10dB.

Thí dụ xác định mức áp suất âm va chạm tính toán tiêu chuẩn hóa

Hình 10 - 38. Xác định tổng độ lệch bất lợi

2.1. Xác định chỉ tiêu cách âm không khí E_K của sàn có lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi

Trình tự giải bài toán như sau:

Xác định 2 thông số của bản sàn chịu lực:

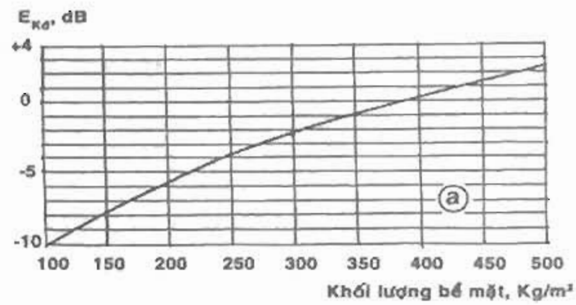
- Chiều dày h_1 (mét)
- Khối lượng bề mặt P_1 (kg/m^2)

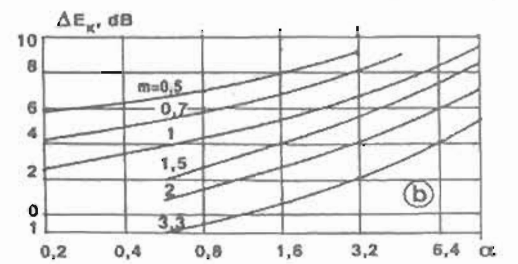
Xác định 2 thông số của tường chịu lực liên kết với bản sàn:

- Chiều dày h_2 (mét)
- Khối lượng bề mặt P_2 (kg/m^2)

Từ hình 10 - 39a tìm giá trị E_{Kd} theo khối lượng bề mặt của bản sàn chịu lực P_1.

Từ bảng 10 - 18 tìm vận tốc truyền sóng dọc C_1 trong bản sàn chịu lực, C_2 trong tường chịu lực.





Hình 10 - 39. Để xác định E_{Kd} và ΔE_K

Tính các thông số để xác định ΔE_K do tác dụng của lớp đàn hồi.

Tỷ số khối lượng **m**:

$$m = \frac{P_1}{P_2}; \qquad \alpha = m\sqrt{\frac{C_1.h_1}{C_2.h_2}}$$

Bảng 10 – 18. Vận tốc truyền sóng dọc C (m/s)

Vật liệu	Bê tông, bê tông cốt thép	Bê tông thạch cao, Bê tông xỉ	Bê tông xỉ bọt	Gạch xây
C (m/s)	3700	4000	3500	2300

Từ hình 10 - 39b, xác định ΔE_K.

- Tính giá trị E_K:

$$E_K = E_{K0} + \Delta E_K$$

Thí dụ: Xác định chỉ tiêu cách âm E_K của bản sàn có đệm đàn hồi giữa các tầng của nhà ở.

Chiều dày của bản sàn chịu lực h_1 = 0,1m.

Chiều dày của tường liên kết h_2 = 0,12m.

Sàn và tường đều bằng bêtông, γ = 2500kg/m^3.

$C_1 = C_2$ = 3700 m/s.

Giải:

$$P_1 = \gamma.h_1 = 2500 \times 0,1 = 250\text{kg/m}^2$$

$$P_2 = \gamma.h_2 = 2500 \times 0,12 = 300\text{kg/m}^2$$

Theo P_1 = 250kg/m^2, từ hình 10 - 39a, tìm được E_{K0} = – 4dB

Các thông số:

$$m = P_1/P_2 = 250/300 = 0,83$$

$$a = m\sqrt{\frac{C_1.h_1}{C_2.h_2}} = 0,83\sqrt{\frac{3700.0,1}{3700.0,12}} = 0,62$$

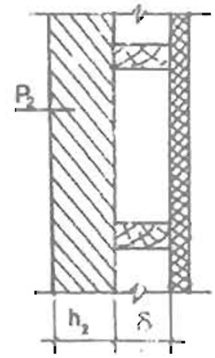
Từ biểu đồ hình 10 - 39b, tìm được ΔE_K = + 4 dB

Cuối cùng:

$$E_K = E_{kđ} + \Delta E_K = -4 + 4 = 0dB$$

Đạt yêu cầu cách âm không khí đối với sàn giữa các tầng của nhà ở

2.2. Chỉ tiêu cách âm E_K của tường nhiều lớp có lớp dễ uốn và lớp không khí trung gian



Hình 10 - 40

Lớp dễ uốn liên kết với tường qua hệ khung xương (hình 10 - 40). Cấu tạo tường nhiều lớp như hình vẽ, chỉ tiêu cách âm không khí E_K có thể xác định theo trình tự sau:

- Tính khối lượng bề mặt trung bình của tường chịu lực P_2 (kg/m²).

Từ biểu đồ hình 10 - 39a, tìm giá trị $E_{Kđ}$ theo P_2.

- Từ bảng 10 - 19, tìm giá trị ΔE_K.

Giá trị ΔE_K phụ thuộc tỷ số khối lượng P_1/P_2.

Cuối cùng:

$$E_K = E_{kđ} + \Delta E_K \quad (dB)$$

Bảng 10 - 19. Giá trị ΔE_K

$m = P_1/P_2$	Sàn nổi trên đệm đàn hồi	ΔE_K, dB
2 – 2,5	Có	7
	Không có	6
3	Có	8
	Không có	7

VII. MỨC ỒN TỔNG HỢP TRONG PHÒNG

Thực tế thường gặp nhiều nguồn ồn độ to khác nhau ở nhiều phía khác nhau xâm nhập vào phòng qua các phía kết cấu ngăn cách, khi đó mức ồn tổng hợp **L** trong phòng có thể tính bằng công thức:

$$L = 10.\lg \sum_{i=1}^{n} S_i.10^{0,1(L_i - R_i)} - 10.\lg A \quad (dB)$$

Trong đó:

S_i - Diện tích bề mặt kết cấu ngăn cách thứ I có lượng cách âm **R_i** và nguồn ồn phía ngoài **L_i**

A - Tổng lượng hút âm của phòng (m²).

Thí dụ: Một phòng, lượng hút âm là $\mathbf{A} = 50m^2$.

Tường hướng ra đường phố, mức ồn L_1 (dB). Lượng cách âm của tường R_1 (dB). Diện tích S_1 (m^2).

Tường hướng ra sân, mức ồn L_2 (dB). Lượng cách âm của tường R_2 (dB). Diện tích S_2 (m^2).

Tường thứ 3 giáp với phòng ồn, mức ồn L_3 (dB). Lượng cách âm của tường R_3 (dB). Diện tích S_3 (m^2).

Tường thứ 4 giáp với văn phòng, mức ồn L_4 (dB). Lượng cách âm của tường R_4 (dB). Diện tích S_4 (m^2).

Phòng sản xuất ở tầng trên, mức ồn L_5 (dB). Diện tích sàn (tức là trần ngăn cách) S_5 (m^2). Khả năng cách âm của sàn R_5 (dB).

Giải:

$$\mathbf{L = 10.lg\sum_{i=1}^{n} S_i.10^{0,1(L_i - R_i)} - 10.lgA} \quad (dB)$$

$$\mathbf{L = 10.lg[S_1.10^{0,1(L_1 - R_1)} + S_2.10^{0,1(L_2 - R_2)} + S_3.10^{0,1(L_3 - R_3)} +}$$

$$\mathbf{+ S_4.10^{0,1(L_4 - R_4)} + S_5.10^{0,1(L_5 - R_5)}] - 10.lgA}$$

Kết quả tính toán tổng hợp trong bảng sau:

Các lớp kết cấu	S_i (m^2)	R_i (dB)	L_i (dB)	$L_i - R_i$ (dB)	$10^{0,1(L_i - R_i)}$	$S_i.10^{0,1(L_i - R_i)}$
Tường hướng ra đường phố	40	53	80	27	500	20.10^3
Tường hướng ra sân	48	53	60	7	5	$0,24.10^3$
Tường giáp với phòng ồn	63	45	65	20	100	$6,3.10^3$
Tường giáp văn phòng có cửa sổ và cửa đi.	8	25	80	55	300.000	$2400\ 10^3$
	7	30	65	35	3.000	21.10^3
Sàn phòng sản xuất tầng trên	80	55	85	30	1.000	80.10^3
Cộng						2527.10^3

Cuối cùng: $\mathbf{L} = 10.\lg 2527 \times 10^3 - 10.\lg 50 = 57dB$

VIII. ĐỘ GIẢM MỨC ỒN TRONG NHÀ TẬP THỂ VÀ GIA ĐÌNH

Theo nhiều kết quả thực nghiệm cho thấy, trước phòng ở có phòng đệm 2 cửa đi, lượng cách âm bằng tổng lượng cách âm của hai cửa.

Trong nhà ở, nguồn ồn cầu thang, buồng tắm giặt, lan truyền theo hành lang đến các phòng ở. Cửa đi của nhà ở, loại một cánh thông thường, lượng cách âm $R_C \approx 14$dB.

Nếu các buồng tắm giặt có phòng đệm, có góc quanh, tiếng ồn sẽ đi qua hai cửa: qua cửa ngoài giảm 14dB, qua cửa thứ hai cũng một cánh, giảm 12dB, qua góc chuyển giảm thêm 2dB. Như vậy tiếng ồn tắt dần trên đường lan truyền trong hành lang, trong phòng đệm và qua góc chuyển.

Từ nguồn ồn (cầu thang, buồng tắm giặt) đến điểm tính toán khoảng cách r mét, diện tích các bề mặt trong hành lang **S** (m^2) hệ số hút âm trung bình của hành lang $\tilde{\alpha}$, độ giảm mức ồn lan truyền trong hành lang, theo L.L. Beranek bằng:

$$\Delta L = 10.\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) - 9,8 \quad \text{(dB)}$$

Nếu mức ồn các quãng độ cao tại nguồn L_W (dB), tại điểm tính toán, mức ồn các quãng độ cao tương ứng (L_P), bằng:

$$L_P = L_W - \Delta L \quad \text{(dB)}$$

Trong đó:

$R = \dfrac{S.\overline{\alpha}}{1 - \overline{\alpha}}$ - gọi là hằng số âm học của hành lang (hằng số âm học hoàn cảnh).

Về mặt chống ồn, nhà hành lang một phía có nhiều ưu điểm hơn nhà hành lang giữa, vì hành lang một phía một mặt có nhiều diện tích trống.

IX. CHỤP HÚT ÂM

Chụp hút âm dùng để ngăn cách tiếng ồn tại nguồn, thí dụ: Một động cơ gây ồn có thể dùng chụp hút âm chụp động cơ để giảm nhỏ tiếng ồn.

Chụp hút âm cấu tạo bằng khung cứng, vách chụp liên kết vào khung. Có thể liên kết chụp hút âm cố định vào máy, có thể liên kết tháo lắp được.

Mặt trong của chụp ốp vật liệu hút âm. Độ giảm mức ồn do chụp hấp thu và tổn thất trên đường lan truyền tới điểm tính toán trong phòng có thể xác định bằng công thức:

$$\Delta L = R_{ch} + \Delta L_n \quad (dB)$$

Trong đó:

R_{ch} - khả năng cách âm của vỏ chụp (dB):

$$R_{ch} = R_k + 10.\lg \overline{\alpha}_{ch}$$

R_K - khả năng cách âm của vỏ chụp, xác định như đối với kết cấu ngăn cách.

$$\overline{\alpha}_{ch} = \frac{\alpha_1.S_1 + \alpha_2.S_2 + ... + \alpha_n.S_n}{\sum_{i=1}^{n} S_i}$$

$\overline{\alpha}_{ch}$ - hệ số hút âm trung bình của vỏ chụp

ΔL_n - độ tắt dần trong quá trình lan truyền từ máy (ngoài vỏ chụp) đến điểm tính toán trong phòng. Nếu điểm tính toán cách vỏ chụp ℓ (mét).

$$\Delta L_n = 10.\lg\left(\frac{1}{4\pi\ell^2} + \frac{4}{R}\right) + 5 \quad (dB)$$

Nếu mức ồn các quãng độ cao tại nguồn (trong chụp) (L_W).

Mức ồn các quãng độ cao tại điểm tính toán, bằng:

$$\Delta L_p = L_W - \Delta L \quad (dB)$$

Để ngăn chặn truyền năng lượng từ máy tới vỏ chụp, nên đặt chụp trên đệm đàn hồi hoặc cách ly móng máy với hệ chụp bằng cách tạo một hào vật liệu có sức cản cao (xỉ, cát...)

R – hằng số âm học hoàn cảnh:

$$R = \frac{S.\overline{\alpha}}{1-\overline{\alpha}} = \frac{A}{1-\overline{\alpha}}$$

S – tổng diện tích các bề mặt trong phòng, m^2

$\overline{\alpha}$ - hệ số hút âm trung bình của phòng.

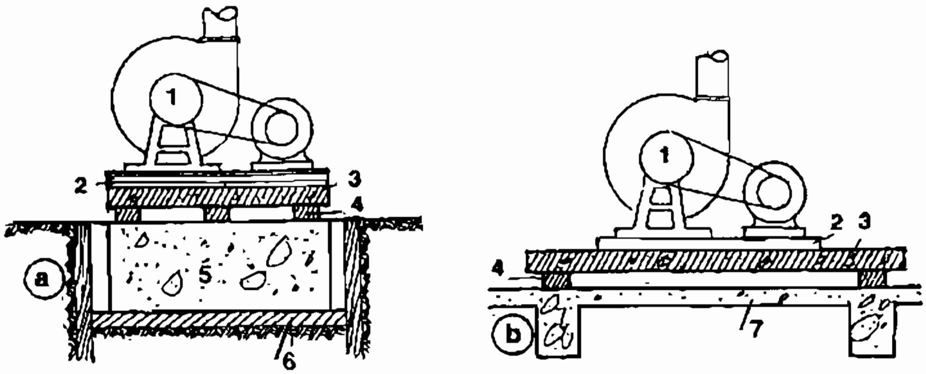
$A = S.\overline{\alpha}$ - tổng lượng hút âm trong phòng, m^2

Trường hợp có nhiều nguồn ồn, tổng hợp theo nguyên lý chồng chất nhiều nguồn âm.

X. CÁCH LY CHẤN ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ MAY MÓC

Tiếng ồn do lan truyền chấn động của máy móc thiết bị – nguồn ồn chủ yếu trong các xí nghiệp công nghiệp hiện đại. Biện pháp đơn giản nhất để cách ly lan truyền chấn động của máy móc, bằng cách đặt máy và thiết bị trên bệ móng đàn hồi.

Lưu ý tần số dao động riêng của bệ móng đàn hồi và tần số dao động khi vận hành của thiết bị, quan hệ này trợ giúp tìm giải pháp đạt được hiệu quả cách ly chấn động.



a) Bệ đàn hồi trên móng; b) Bệ đàn hồi đặt trực tiếp trên sàn
1. Cụm thiết bị; 2. Khung đế máy; 3. Bệ máy béton cốt thép
4. Đệm đàn hồi; 5. Móng máy; 6. Đáy máy; 7. Bản sàn

Hình 10 - 41. Bệ móng đàn hồi

1. Tần số dao động riêng f (tần số cộng hưởng) của thiết bị

Khi đặt thiết bị trên bệ móng đàn hồi (hình 10 - 41) chưa vận hành, đặt thiết bị lên bệ và thả ra, để thiết bị dao động lên xuống tự do, tần số dao động này gọi là tần số dao động riêng (tần số cộng hưởng) f của thiết bị.

2. Tần số chấn động F

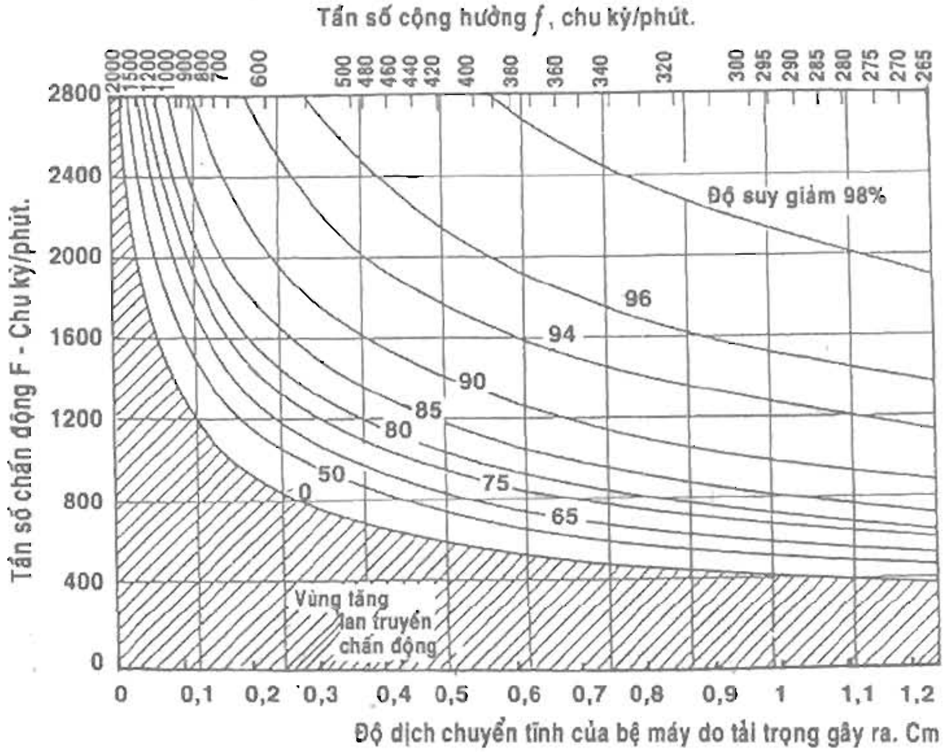
Khi thiết bị vận hành tần số chấn động **F**.

Sau khi sử dụng đệm đàn hồi, lực do thiết bi truyền xuống mặt đất và lực do thiết bị trực tiếp truyền xuống mặt đất khi không có đệm đàn hồi, tỷ lệ giữa hai lực này có thể xác định gần đúng:

$$T = \frac{1}{\left(\frac{F}{f}\right)^2 - 1}$$

Trong đó: **T** – suất lan truyền.

Rõ ràng khi **F** >> f, chấn động suy giảm càng lớn, ngược lại, khi **F** < f, đệm đàn hồi hoàn toàn bất lợi, có thể tăng sự lan truyền chấn động của thiết bị. Khi **F** = f thì **T** lớn vô hạn. Thực tế, công thức trên bỏ qua tác dụng của lực cản, cho nên **T** không thể vô hạn (hình 10 - 42) vùng gạch chéo là vùng tăng sự lan truyền chấn động.



Hình 10 - 42. Đường cong tính số % suy giảm chấn động khi bệ móng đàn hồi chấn động do phụ tải

Bệ đỡ có hệ số độ cứng (kháng nén) **K**, khối lượng **m**.

Tần số dao động riêng (tần số cộng hưởng) của bệ đỡ:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$$

Hoặc chuyển đổi, bằng:

$$f = \frac{300}{\sqrt{d}} \text{ (chu kỳ/phút).}$$

Trong đó:

d - độ dịch chuyển tĩnh của bệ đỡ do tải trọng gây ra (cm).

Tăng diện tích chịu nén của bễ đỡ, hệ số kháng nén tăng theo. Nếu tăng chiều dày của bệ đỡ, hệ số kháng nén giảm tương ứng. Trường hợp trước, tăng cao tần số cộng hưởng, trường hợp sau ngược lại, tần số cộng hưởng giảm thấp.

Độ suy giảm chấn động = (1 – T) 100%

Tóm lại, trong mọi trường hợp, bảo đảm tải trọng của hệ thống bệ đỡ phù hợp, không nặng cũng không nhẹ, đồng thời $f < \mathbf{F}$ một số lần.

Khi sử dụng gỗ mềm, cao su, thảm đàn hồi ... tải trọng không vượt quá giới hạn an toàn tối đa, bằng 50 – 70% phụ tải. Tải trọng an toàn của gỗ mềm khoảng 0,5 – $5kg/cm^2$, tải trọng an toàn của cao su 2 – $5kg/cm^2$ ...

XI. GIẢM NHỎ TIẾNG ỒN CỦA HỆ THÔNG THÔNG GIÓ

Trong những công trình dân dụng và công nghiệp lớn, lưu lượng không khí cấp và thải rất nhiều, sử dụng quạt gió công suất cao, phát ra tiếng ồn thường tới 100dB.

1. Nguồn gốc phát sinh tiếng ồn

Nguồn ồn của hệ thống thông gió chủ yếu do động cơ và cánh quạt. Dòng không khí lưu thông trong ống phát ra tiếng ồn kh· gặp chướng ngại, hoặc khi dòng không khí cao tốc va vào khối không khí tĩnh trong phòng hoặc dòng khí va đập vào thành ống ... Ngoài ra, tiếng ồn bên ngoài thông qua vách ống đi vào hệ thống thông gió, hoặc đi vào miệng gió theo hệ thống ống vào các phòng.

Tiếng ồn phát sinh từ cánh quạt quay, một bộ phận không quy tắc, một bộ phận tần số cao không đổi. Tần số cơ bản phu thuộc vào số vòng quay của trục cánh quạt, có thể xác định bằng công thức:

$$f = \frac{n.Z}{60} \quad \text{(Hz)}$$

Trong đó: **n** - số vòng quay /phút của trục quay

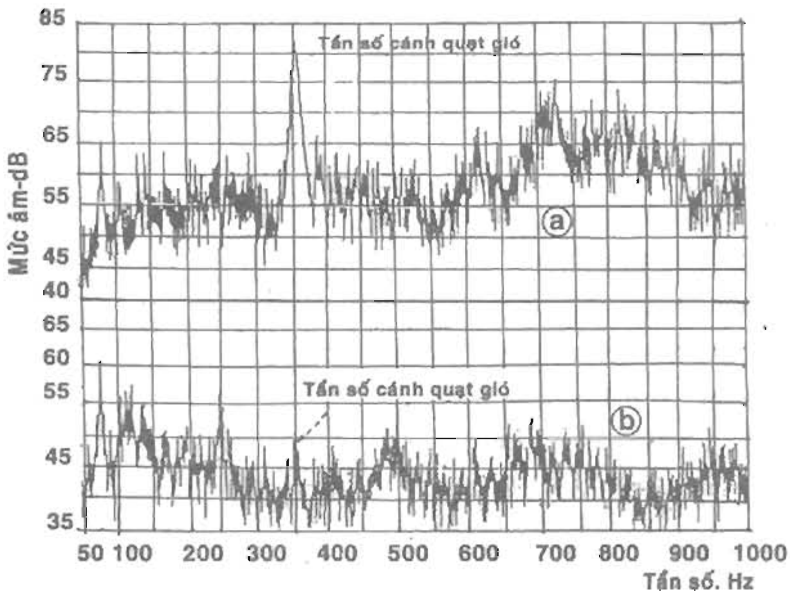
Z - số lượng cánh quạt

Tiếng ồn của dòng không khí chuyển động trong ống gặp chướng ngại (ống cong, ống rẽ, ống đổi tiết diện, ô lưới của miệng gió, không khí va chạm với khối không khí yên tĩnh trong phòng ...) tần số rộng và cao (hình 10 - 43). Tốc độ dòng không khí càng cao, tiếng ồn càng lớn, cho nên có thể bằng biện pháp giảm tốc để giảm ồn, nhưng như vậy, ống phải lớn, không kinh tế. Mức ồn của dòng không khí phụ thuộc vào tốc độ như biểu đồ (hình 10 - 44) – đo phía trước, cách 3 miệng cấp 1,8m (diện tích mỗi miệng cấp 465 cm^2).

Diện tích miệng gió không đổi, tăng diện tích chóp khuếch tán, mức ồn tăng lên.

Nếu lưu lượng gió đi qua chóp khuếch tán không đổi, mức ồn sẽ giảm theo sự gia tăng diện tích của chóp (hình 10 - 45).

Nếu chớp miệng hút gió cấu tạo giống chớp miệng cấp, tốc độ gió ở miệng hút luôn luôn nhỏ hơn ở miệng cấp. Do đó có thể bỏ qua không tính mức ồn tăng thêm do miệng hút gió gây ra.



Hình 10 - 43. Sự phân bố tần số tiếng ồn của hệ thống thông gió
a) Ghi nhận gần miệng cấp gió
b) Ghi nhận của máy lọc âm cắm vào đường ống thông gió

2. Xử lý giảm nhỏ tiếng ồn của hệ thống thông gió

Trước tiên, xác định khả năng giảm ồn của chớp gió. Do sự thay đổi diện tích tại vị trí chớp khuếch tán, xuất hiện hiện tượng phản xạ âm, do đó giảm mức ồn vào phòng. Lượng suy giảm này, có thể xác định bằng biểu thức:

$$\text{Mức suy giảm} = 10.\lg \frac{A}{S} \quad \text{(dB)}$$

Trong đó:

A - tổng lượng hút âm trong phòng.

S - tổng diện tích nan chớp (miệng cấp và miệng hút).

Có hai phương pháp giảm nhỏ tiếng ồn trong ống dẫn gió:

- Bố trí vật liệu hút âm mặt trong ống dẫn gió.
- Sử dụng ống tiêu âm.

Phương pháp trên, thực tế sử dụng phổ biến hơn, chiều dày lớp vật liệu hút âm không nhỏ hơn 2,5 – 3cm. Có thể bằng phương pháp cấu tạo lớp vật liệu hút âm cách thành ống 8 – 10cm, giải pháp này tăng hệ số hút âm trung bình 20 ÷ 30%, nhất là ở phạm vi tần số thấp. Nếu sử dụng tấm vật liệu hút âm, có thể dán vào thành ống bằng hắc ín hoặc vữa ximăng, hoặc cố định trên sườn gỗ (sát hoặc cách thành ống một lớp không khí). Nếu vật liệu hút âm bằng vật liệu xốp dạng thảm, có thể cấu tạo treo, bên ngoài ốp gỗ ép hoặc lá kim loại đục lỗ để bảo vệ, suất đục lỗ của tấm ốp không nhỏ hơn 20%. Lượng giảm mức ồn do bố trí vật liệu hút âm, có thể tính bằng công thức:

$$\textbf{Lượng giảm mức ồn} = 1,1\,\frac{\alpha K.P}{S}.l \text{ (dB)}$$

Trong đó:

l - chiều dài đoạn ống phủ vật liệu hút âm (m)

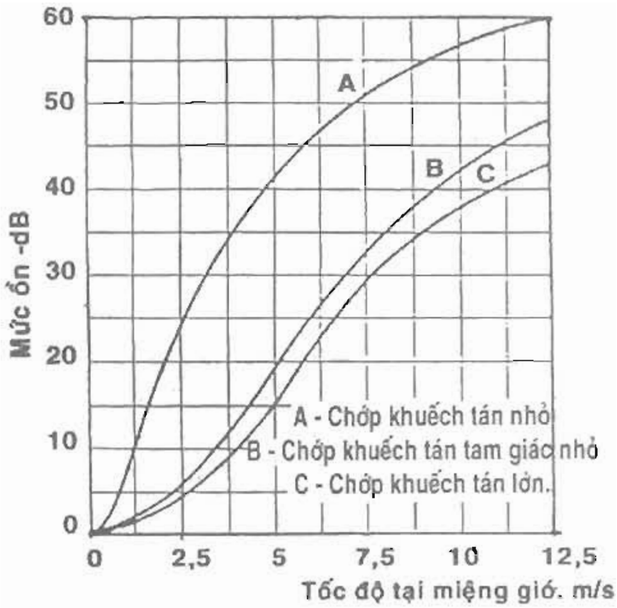
P - chu vi tiết diện ống (m)

S - diện tích tiết diện ngang (m^2)

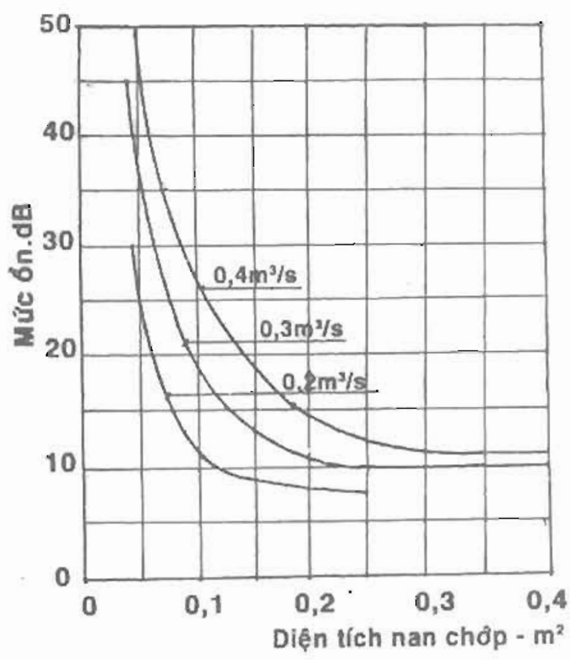
α - hệ số hút âm của vật liệu hút âm trong ống.

K - phụ thuộc vào α, theo bảng 10 - 20

Kết quả tính từ công thức trên, lượng giảm mức ồn tỷ lệ thuận với l, **P/S** và hệ số hút âm α của vật liệu. Với chiều dài và tiết diện **S** xác định, ống dẫn tiết diện chữ nhật tương đối tốt, vì tỷ số **P/S** lớn.



Hình 10 - 44. Mức ồn phụ thuộc tốc độ gió



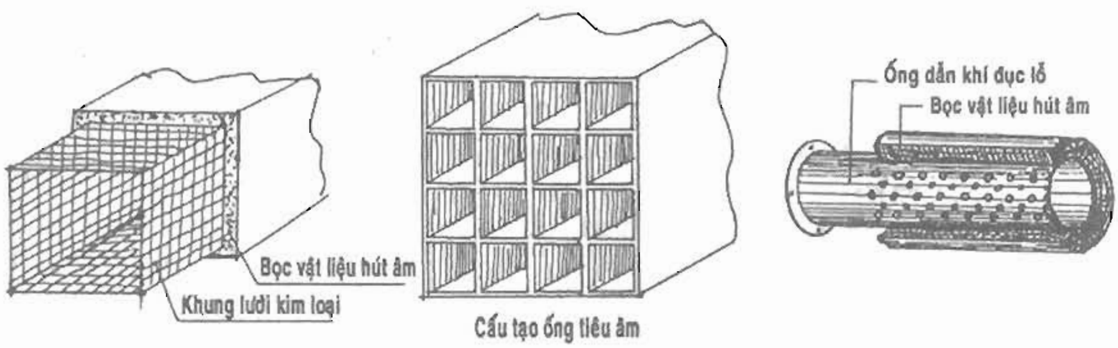
Hình 10 - 45. Mức ồn và diện tích nan chớp (cùng một lưu lượng gió)

Bảng 10 - 20

α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K	0,1	0,2	0,35	0,5	0,65	0,9	1,2	1,6	2,0	4,0

Hiệu quả của vật liệu hút âm chỉ giới hạn ở chiều dài bước sóng âm lớn hơn 50% đường kính hay chiều rộng ống dẫn. Khi chiều dài bước sóng âm < 50% đường kính hay chiều rộng ống dẫn, lượng giảm ồn sẽ kém hơn. Khắc phục hiện tượng này, có thể uốn cong khoảng 20^0 đoạn ống phủ vật liệu hút âm, để sóng âm cao tần phản xạ qua lại trên đoạn cong. Giải pháp này, tăng lượng giảm ồn ở những tần số ≥ 2000 Hz không ít hơn 5dB.

Một phương pháp khác để tăng lượng giảm ồn ở những tần số cao, bằng cách chia đoạn ống lớn thành nhiều ngăn ống nhỏ (hình 10 - 46) ống tổ ong.



Hình 10 - 46. Cấu tạo ống giảm ồn

Vách ngăn giữa các ống nhỏ, sử dụng tấm vật liệu rỗng xốp: bê tông bọt, tấm xỉ thạch cao, tấm vật liệu sợi ép ... chiều dày không lớn hơn 2,5 – 3cm, chế tạo thành những đoạn ống đơn dài 1 – 2m. Lượng giảm mức ồn xác định bằng công thức trên, với từng ống đơn, không phụ thuộc số lượng ống đơn trong cấu tạo.

Trường hợp ống dẫn nhỏ, có thể sử dụng hộp giảm âm, tạo dòng rích rắc. Cấu tạo này cản dòng rất lớn, do đó chỉ áp dụng khi vận tốc dòng ≤ 6 – 7m/s.

Chống ồn xâm nhập vào đường ống xử lý bằng cách bọc vật liệu mềm hút âm phía ngoài ống, nhất là những vị trí liên kết ống với kết cấu.

Những phòng yên lặng tuyệt đối (phòng phát thanh, phòng ghi âm ...) chỉ sử dụng phương pháp trên đây để giảm ồn chưa đủ, nhất là đối với tiếng ồn thấp tần, rất cần thiết bổ sung một số giải pháp tiêu âm: hộp tiêu âm, thay đổi tiết diện ống dẫn, bản đục lỗ ... chú ý lựa chọn tần số của những bộ phận giảm ồn này.

Phụ lục 1

VẬT LIỆU VÀ HỆ SỐ HÚT ÂM α [19]

Số TT	Vật liệu và quy cách	Chiều dày (mm)	Khối lượng (kg/m³)	Hệ số hút âm α theo tần số					
				125	250	500	1000	2000	4000
	TẤM SỢI ÉP								
1	Tấm dăm bào gỗ (dăm bào dày 0,5 x rộng 5 x dài > 80)	15	400	0,03	0,05	0,15	0,19	0,50	0,76
2	–	25	400	0,08	0,20	0,30	0,66	0,71	0,88
3	–	50	400	0,14	0,25	0,63	0,76	0,87	0,90
4	Tấm dăm bào nhỏ, sát tường	16		0,04	0,11	0,20	0,21	0,60	0,68
5	Tấm dăm bào nhỏ, cách tường 30	16		0,07	0,18	0,30	0,49	0,37	0,66
6	Tấm bã mía sát tường	15		0,06	0,20	0,41	0,44	0,52	0,58
7	Tấm bã mía đục lỗ (lỗ ϕ5, sâu 6, khoảng cách 15, lớp không khí 50)	20	300	0,25	0,55	0,30	0,35	0,45	0,60
8	Tấm sợi gỗ mềm	13	380	0,08	0,10	0,10	0,12	0,30	0,33
9	Tấm sợi gỗ mềm, đục lỗ một nửa	13	380	0,10	0,15	0,22	0,32	0,41	0,46
10	Tấm sợi gỗ mềm, mặt dán giấy (Lỗ ϕ 6, sâu 4, khoảng cách 20, lớp không khí 50)	13	320	0,25	0,35	0,30	0,40	0,45	0,60
11	Cỏ biển bọc vải đay	20	100	0,10	0,09	0,12	0,42	0,93	0,78
12	–	50	100	0,10	0,19	0,50	0,94	0,85	0,86
	THẢM								
13	Thảm lông	15	150	0,03	0,06	0,17	0,42	0,65	0,73
14	–	15	80	0,04	0,06	0,14	0,36	0,63	+
15	–	20	370	0,07	0,26	0,42	0,40	0,55	0,92
16	–	13	230	0,07	0,17	0,32	0,45	0,56	0,56
17	–	300	80	0,04	0,17	0,56	0,65	0,81	0,69
									0,91
18	Bông thủy tinh siêu mịn	20	30	0,03	0,04	0,29	0,80	0,79	0,79
19	–	20	20	0,05	0,10	0,30	0,65	0,65	0,65
20	–	40	20	0,05	0,10	0,50	0,85	0,70	0,65
21	–	50	20	0,15	0,35	0,85	0,85	0,86	0,86
22	–	100	20	0,25	0,60	0,85	0,87	0,87	0,85
23	–	150	20	0,50	0,80	0,85	0,85	0,86	0,80
24	Bông khoáng	50	150	0,18	0,44	0,75	0,81	0,87	–
25	–	90	150	0,44	0,59	0,67	0,77	0,85	–
26	–	50	200	0,21	0,42	0,56	0,70	0,80	–
27	–	90	200	0,33	0,42	0,58	0,70	0,88	–
28	Thảm bông khoáng	50	60	0,09	0,22	0,54	0,89	0,99	–
29	–	90	80	0,11	0,28	0,64	0,89	0,92	–

	BÊ TÔNG BỌT								
30	Bê tông bọt	90	670	0,08	0,10	0,10	0,19	0,27	0,20
	–	150	500	0,08	0,14	0,19	0,28	0,34	0,45
31	Gạch hút âm Trường Thạch, Thạch anh	80	1500	0,16	0,33	0,35	0,36	0,34	–
	–	90	1500	0,18	0,41	0,40	0,35	0,38	–
	XỐP CHẤT DẺO								
32	Xốp chất dẻo	20		0,04	0,07	0,11	0,18	0,38	0,72
33	–	40		0,07	0,13	0,24	0,43	0,80	0,74
34	–	60		0,10	0,19	0,40	0,80	0,83	0,97
35	–	30	56	0,67	0,16	0,41	0,87	0,75	0,72
36	–	50	56	0,11	0,31	0,91	0,75	0,86	0,81
37	–	30	71	0,11	0,21	0,71	0,65	0,64	0,65
38	–	50	71	0,20	0,32	0,70	0,62	0,68	0,65
39	–	14		0,05	0,07	0,22	0,68	0,54	–
40	–	31		0,09	0,18	0,71	0,57	0,52	–
41	–	51		0,13	0,35	0,83	0,79	0,70	–
42	Xốp chất dẻo mịn, bọt xốp nhỏ	40	30	0,10	0,14	0,26	0,50	0,82	0,77
43	Xốp chất dẻo, bọt xốp lớn	40	40	0,06	0,10	0,20	0,59	0,88	0,85

	Bản đục lỗ hút âm	Chiều dày lớp không khí (mm)	Hệ số hút âm α theo tần số					
			125	250	500	1000	2000	4000
44	Ván ép 3 lớp đục lỗ, lỗ tròn ϕ5, khoảng cách 40	100 để trống	0,04	0,54	0,29	0,09	0,11	0,19
		100, phía sau dán vải	0,28	0,69	0,51	0,21	0,16	0,23
		100, đệm bông khoáng	0,69	0,73	0,51	0,28	0,19	0,17
		50, phía sau dán vải	0,18	0,33	0,36	0,36	0,35	0,33
45	Ván ép 3 lớp đục lỗ dài, cách ngang 10, dọc 20, l = 50	50, đệm bông khoáng	0,21	0,35	0,40	0,43	0,42	0,39
		50	0,09	0,19	0,34	0,28	0,170,	0,15
46	Ván ép 5 lớp, đục lỗ tròn ϕ8, khoảng cách 50	100	0,11	0,35	0,30	0,23	0,23	0,19
		150	0,18	0,35	0,32	0,20	0,23	0,10
		50	0,01	0,25	0,55	0,30	0,16	0,19
47	Ván ép 5 lớp, khoảng cách lỗ 5 và 25	Đệm bông khoáng 50	0,23	0,69	0,66	0,47	0,26	0,27
		- 100	0,10	0,45	0,48	0,18	0,19	0,25
		Đệm bông khoáng 100	0,20	0,95	0,61	0,32	0,23	0,55
		50	0,20	0,67	0,61	0,37	0,27	0,27
48	Ván ép 5 lớp, đục lỗ tròn ϕ8, khoảng cách 50, đệm bông thuỷ tinh, bọc vải thuỷ tinh 0,5kg/m^2,	100	0,33	0,55	0,55	0,42	0,26	0,27
		150	0,34	0,61	0,52	0,35	0,27	0,19
		50	0,22	0,45	0,33	0,20	0,18	0,20
49	Ván ép 5 lớp, đục lỗ tròn ϕ8, khoảng cách 100, đệm thảm thuỷ tinh, bọc vải thuỷ tinh,	100	0,31	0,42	0,32	0,26	0,17	0,20
		150	0,34	0,40	0,29	0,27	0,17	0,18

50	Tấm kim loại đục lỗ tròn ϕ6 khoảng cách 55	100, đệm bông khoáng	0,32	0,76	1,0	0,95	0,90	0,98
		100, đệm bông khoáng	0,31	0,37	1,0	1,0	1,0	1,0
51	Tấm vật liệu sợi cứng 4 ly, đục lỗ tròn ϕ35 khoảng cách 75, đệm thảm thuỷ tinh 40, P = 50 kg/m²	40	0,19	0,36	0,59	0,63	0,50	0,51
		100	0,28	0,51	0,58	0,51	0,53	0,62
52	Tấm bông khoáng 4ly, đục lỗ tròn ϕ9, suất đục lỗ 1%, Đệm bông siêu mịn 0,5kg/m³	50	0,19	0,54	0,25	0,15	0,02	–
		100	0,22	0,50	0,25	0,10	0,01	–
		150	0,20	0,46	0,31	0,12	0,06	–
		200	0,23	0,44	0,33	0,11	0,04	0,04
		250	0,21	0,41	0,28	0,14	0,04	0,03
53	Tấm bông khoáng 4ly, đục lỗ tròn ϕ9, suất đục lỗ 2,5%, Đệm bông siêu mịn 0,5kg/m³	50	0,13	0,50	0,63	0,32	0,14	0,03
		100	0,23	0,61	0,50	0,36	0,16	0,03
		150	0,30	0,54	0,45	0,36	0,18	0,01
		200	0,26	0,54	0,48	0,34	0,165	0,07
		250	0,24	0,52	0,43	0,34	0,13	0,03
54	Tấm bông khoáng 4ly, đục lỗ tròn ϕ9, suất đục lỗ 5%, Đệm bông siêu mịn 0,5kg/m³	50	0,07	0,38	0,60	0,41	0,28	0,07
		100	0,17	0,56	0,57	0,48	0,26	0,07
		150	0,26	0,52	0,48	0,48	0,31	0,11
		200	0,27	0,50	0,46	0,25	0,33	0,15
		250	0,26	0,50	0,48	0,43	0,31	0,15
55	Tấm bông khoáng 4ly, đục lỗ tròn ϕ9, suất đục lỗ 10%, Đệm bông siêu mịn 0,5kg/m³	50	0,15	0,35	0,66	0,59	0,48	0,33
		100	0,19	0,58	0,61	0,63	0,48	0,33
		150	0,24	0,44	0,50	0,50	0,45	0,25
		200	0,27	0,43	0,45	0,43	0,45	0,33
		250	0,26	0,52	0,44	0,43	0,45	0,33
56	Tấm bông khoáng 4ly, đục lỗ tròn ϕ9, suất đục lỗ 14%, Đệm bông siêu mịn 0,5kg/m³	50	0,10	0,35	0,77	0,70	0,59	0,39
		100	0,18	0,63	0,70	0,66	0,55	0,33
		150	0,25	0,52	0,46	0,55	0,55	0,45
		200	0,26	0,48	0,50	0,53	0,55	0,45
		250	0,29	0,53	0,45	0,43	0,53	0,46
57	Tấm chất dẻo, đục lỗ tròn ϕ7, khoảng cách 25,							
	đục 196 lỗ/diện tích 390 x 390	50	0,08	0,18	0,39	0,19	0,13	0,11
	Như trên, đệm xốp chất dẻo 30	50	0,08	0,27	0,59	0,23	0,15	0,14
	Như trên, đệm bông siêu mịn 30	50	0,16	0,21	0,73	0,42	0,26	0,15
58	Tấm chất dẻo, đục lỗ tròn ϕ7 khoảng cách 25,							
	đục 98 lỗ/diện tích 390 x 390	50	0,08	0,16	0,34	0,16	0,14	0,17
	Như trên, đệm xốp chất dẻo 30	50	0,10	0,29	0,40	0,23	0,17	0,19
	Như trên, đệm bông siêu mịn 30	50	0,19	0,23	0,42	0,32	0,21	0,07
59	Tấm thạch cao 7 ly, suất đục lỗ 6% phía sau dán một lớp giấy mỏng	100	0,18	0,61	0,78	0,37	0,22	0,16
	Như trên	200	0,46	0,64	0,54	0,32	0,22	0,15
	Như trên, đệm bông 20kg/m³	100	0,39	0,99	0,83	0,41	0,26	0,19
	–	200	0,61	0,76	0,59	0,40	0,25	0,20

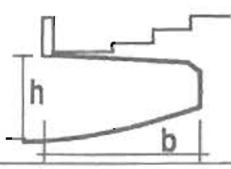
STT	Vật liệu và kết cấu	Dày (mm)	ϕ lỗ (mm)	Khoảng cách lỗ (mm)	Lớp không khí (mm)	Hệ số hút âm α theo tần số					
						125	250	500	1000	2000	4000
60	Tấm sợi gỗ	4			100	0,24	0,52	0,91	0,70	0,45	0,33
61	Tấm sợi gỗ, suất đục lỗ 10%, đệm vải thuỷ tinh				200	0,43	0,71	0,76	0,46	0,46	0,31
62	Ván ép 3 lớp đục lỗ	3	5	40	100	0,37	0,54	0,30	0,09	0,11	0,19
63	- nt- mặt sau dán vải	3	5	40	100	0,29	0,70	0,51	0,20	0,16	0,23
64	- nt- mặt sau dán vải	3	5	40	200	0,70	0,36	0,35	0,27	0,18	0,15
65	- nt- đệm bông khoáng 5 ,	3	5	40	100	0,67	0,72	0,51	0,29	0,19	0.17
66	- nt-	3	5	40	50	0,17	0,48	1,00	0,94	0,83	0,64
67	Ván ép 3 lớp đục lỗ đệm bông thuỷ tinh	3	10	13	30	0,15	0,30	0,51	0,58	0,42	0,33
68	Ván ép 5 lớp đục lỗ, đệm bông khoáng	5	5	70	200	1,0	0,34	0,30	0,14	0,11	0,24
69	Ván ép 5 lớp đục lỗ, mặt sau dán vải bông	5	5	70	100	0,48	0,8	0,58	0,37	0,25	0,22
70	[illegible]	5	5	70	200	0,86	0,25	0,20	0,10	0,08	0,18
71	Tấm ép	9	10	45	43	0,38	0,32	0,28	0,25	0,23	0,14
72	Tấm ép đệm bông khoáng 50	6	6	42	50	0,36	0,59	0,49	0,62	0,52	0,38
73	Hai lớp bản đục lỗ:										
	Tấm trước ván ép 5 lớp		5	25	50	0,83	0,50	0,68	0,41	0,22	0,25
	Tấm sau ván ép 3 lớp		5	40	100						
74	Hai lớp bản đục lỗ:										
	Tấm trước ván ép 3 lớp		5	13	30	0,86	0,40	0, 63	0,93	0,83	0,57
	Tấm sau ván ép 3 lớp		5	40	200						
75	Hai lớp bản đục lỗ:										
	Tấm trước ván ép 3 lớp, đệm bông khoáng		5	13	50	0,95	0,54	0,92	1,0	0,93	0,72
	Tấm sau ván ép 5 lớp, dán vải		5	35	200						

STT	Bản đục lỗ nhỏ	Dày (mm)	ϕ lỗ (mm)	Suất đục lỗ	Lớp không khí	Hệ số hút âm α theo tần số					
						125	250	500	1000	2000	4000
76	Một lớp bản đục lỗ nhỏ	0,8	0,8	1	30	–	0,18	0,64	0,69	0,17	–
				1	50	0,05	0,29	0,87	0,78	0,12	–
				1	70	–	0,40	0,86	0,37	0,14	–
				1	100	0,24	0,71	0,96	0,40	0,29	–
				1	150	0,37	0,85	0,99	0,20	0,15	–
				1	200	0,56	0,98	0,11	0,86	0,27	–
				1	250	0,72	0,99	0,17	0,40	0,12	–
77	Một lớp bản đục lỗ nhỏ	0,8	0,8	2	30	0,08	0,11	0,15	0,58	0,40	–
				2	50	0,05	0,17	0,60	0,78	0,22	–
				2	70	0,12	0,24	0,57	0,70	0,17	–
				2	100	0,10	0,46	0,92	0,31	0,40	–
				2	150	0,24	0,68	0,80	0,10	0,12	–
				2	200	0,40	0,83	0,54	0,77	0,28	–
				2	250	0,48	0,89	0,34	0,45	0,11	–
78	Một lớp bản đục lỗ nhỏ	0,8	0,8	3	30	–	0,06	0,20	0,68	0,42	–
				3	50	0,11	0,25	0,43	0,70	0,25	–
				3	70	–	0,22	0,82	0,69	0,21	–
				3	100	0,12	0,29	0,78	0,40	0,78	–
				3	150	0,21	0,47	0,72	0,12	0,20	–
				3	200	0,22	0,50	0,50	0,28	0,55	–
				3	250	0,35	0,70	0,76	0,50	0,15	–
79	Một lớp bản đục lỗ nhỏ	0,8	0,8	1	200	0,28	0,67	0,52	0,42	0,40	0,30
				2	150	0,18	0,43	0,87	0,32	0,33	0,34
				2	200	0,19	0,50	0,45	0,35	0,36	0,19
		0,8	0,8	1	200	0,37	0,53	0,44	0,29	0,26	0,18
				2	200	0,22	0,31	0,39	0,24	0,31	0,30
80	Hai lớp bản đục lỗ nhỏ	0,9	0,8	2,5 + 1	30,70	0,26	0,71	0,92	0,65	0,35	–
					40,60	0,21	0,72	0,94	0,84	0,30	–
					50,50	0,18	0,69	0,96	0,99	0,24	–
					40,160	0,58	0,99	0,54	0,86	–	–
					80,120	–	0,88	0,84	0,80	–	–
				2 + 1	80,120	0,48	0,97	0,93	0,64	0,15	–
				3 + 1	80,120	0,40	0,92	0,96	0,66	0,17	–
81	Hai lớp bản đục lỗ nhỏ			2 + 1	100,100	0,28	0,79	0,70	0,64	0,41	0,42
				2 + 1	50,100	0,25	0,79	0,67	0,68	0,45	0,38
				2 + 1	80,120	0,41	0,91	0,61	0,61	0,31	0,30

STT	Vật liệu và kết cấu	Lớp không khí	Hệ số hút âm α theo tần số					
			125	250	500	1000	2000	4000
82	Ván ép 3 lớp							
	Không có vật liệu đệm	50	0,21	0,74	0,21	0,10	0,08	0,12
	Khoảng cách khung 500 x 500 đệm bông khoáng	50	0,27	0,57	0,28	0,12	0,09	0,12
	Khoảng cách khung 500 x 450 đệm bông khoáng	100	0,60	0,38	0,18	0,05	0,04	0,08
	Khoảng cách khung 450 x 500 đệm bông khoáng	50	0,21	0,73	0,21	0,19	0,08	0,12
	- Như trên -	100	0,60	0,38	0,18	0,05	0,05	0,08
83	Ván ép 5 lớp, khoảng cách khung 450 x 450 đệm bông khoáng	50	0,09	0,52	0,17	0,06	0,10	0,12
		100	0,41	0,30	0,14	0,050,	0,10	0,16
		150	0,38	0,33	0,16	06	0,10	0,17
84	Ván ép 5 lớp, khoảng cách khung 500 x 450	160	0,58	0,14	0,09	0,04	0,04	0,07
		250	0,37	0,13	0,10	0,05	0,05	0,10
85	Như trên, đệm thảm thuỷ tinh	50	0,48	0,25	0,15	0,07	0,10	0,11
86	Ván gỗ 5 – 10	100	0,25	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
87	Tấm sợi gỗ mềm, dày 11, P = 200 - 250kg/m^3,	60	0,22	0,30	0,34	0,32	0,41	0,42
88	Tấm sợi gỗ cứng, dày 4	100	0,50	0,16	0,08	0,05	0,04	0,08
89	- Như trên – đệm thảm thủy tinh	100	0,48	0,25	0,15	0,07	0,10	0,11
90	Tấm vật liệu ép, dày 3	50	0,20	0,70	0,15	0,10	0,05	0,05
		100	0,30	0,45	0,15	0,10	0,05	0,05
91	Tấm vật liệu ép, dày 5	50	0,10	0,25	0,15	0,05	0,05	0,05
		100	0,35	0,25	0,10	0,05	0,05	0,05
92	Tấm vật liệu ép, dày 6,3	50	0,10	0,40	0,10	0, 10	0,05	0,05
93	Tấm vật liệu ép, dày 8,3	50	0,30	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05
94	Tấm vật liệu ép, dày 12,5							
	Khung xương 500 x 450	400	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09

HỆ SỐ HÚT ÂM α CỦA MỘT SỐ VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU [19]

STT	Vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm α					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	Tường gạch trát vữa	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
2	Tường gạch miết mạch	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
3	Tường gạch trát vữa quét sơn	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
4	Tường gạch trát nhám	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,05
5	Mặt bê tông nhám không sơn	0,01	0,02	0,02~ 0,04	0,02~ 0,06	0,02~ 0,08	0,03~ 0,10
6	Mặt bê tông quét sơn	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
7	Trát da cóc nhỏ quét sơn	0,04	0,03	0,03	0,10	0,05	0,07
8	Trát da cóc thô quét sơn	0,04	0,04	0,07	0,02	0,09	0,05
9	Vữa hỗn hợp (Vôi bột + tro than cám + Ciment + Cốt liệu nhỏ) dày 17	0,21	0,16	0,25	0,40	0,42	0,48
10	Vữa hỗn hợp (Thạch cao + tro than cám + Ciment + Cốt liệu nhỏ) dày 21	0,38	0,21	0,11	0,30	0,42	0,77
11	Mặt đá chẻ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
12	Nền đá mài	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
13	Nền bê tông	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
14	Nan gỗ trát vữa	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
15	Sàn Pakê	0,15	0,10	0,10	0,07	0,06	0,07
16	Sàn gỗ ván	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
17	Mặt bê tông phủ thảm	0,02~ 0,10	0,06~ 0,10	0,15~ 0,20	0,25~ 0,35	0,30~ 0,60	0,35~ 0,65
18	Vải nhung 0,31kg/m³ treo tường	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
19	Vải nhung 0,43kg/m³ xếp gập nửa diện tích	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
20	Vải nhung 0,56kg/m³ xếp gập nửa diện tích	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
21	Màn vải nhung 0,77kg/m³,	0,05	0,12	0,35	0,45	0,28	0,36
22	Rèm vải bông gập 50% diện tích	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54
23	Rèm vải bông gập 75% diện tích	0,04	0,23	0,40	0,57	0,53	0,40
24	Rèm vải bông 0,5kg/m² dán sát tường	0,04	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35
25	Rèm cửa sổ (nhung, lụa)	0,23	0,24	0,28	0,39	0,37	0,15
26	Rèm cửa sổ (gấm)	0,28	0,34	0,41	0,42	0,38	0,33
27	Nhung lông (0,127kg/m²)	0,23	0,24	0,28	0,39	0,37	0,15
28	Vải cảnh (trang trí)	0,73	0,59	0,75	0,71	0,76	0,70
29	Cao su dày 5 phủ mặt bê tông	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
30	Kính 3ly, cửa sổ 12,5 x 35cm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
31	Mặt nước	0,08	0,08	0,013	0,015	0,02	0,025
32	Cát khô dày 102mm, 176kg/m²,	0,15	0,35	0,40	0,50	0,55	0,80
33	Cát khô dày 203mm, 352kg/m²,	0,15	0,30	0,45	0,50	0,55	0,75
34	Cửa đi mặt bọc da	0,10	0,11	0,11	0,09	0,09	0,11
35	Cửa đi gỗ	0,16	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10
36	Lỗ thông gió	0,30	0,40	0,50	0,50	0,50	0,60
37	Miệng sân khấu	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
38	Dưới ban công b/h = 2,5	0,30	–	0,50	–	0,60	–
39	Dưới ban công b/h = 3	0,40	–	0,65	–	0,75	–



HỆ SỐ HÚT ÂM α CỦA NGƯỜI VÀ GHẾ (đo trong phòng âm vang) [19]

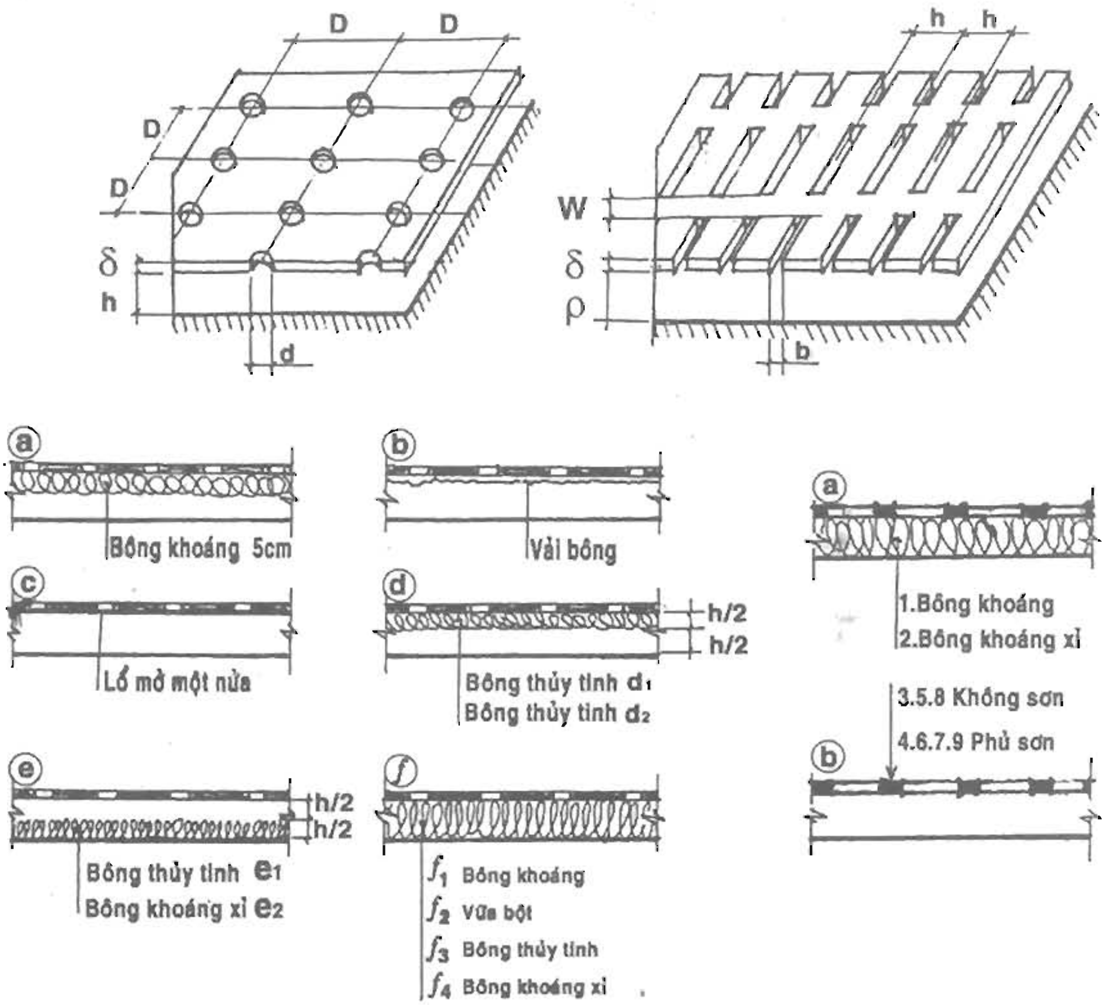
STT	Người và ghế	Hệ số hút âm α					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	$1m^2$ chỗ ngồi gồm Người + Ghế và lối đi rộng 1m	0,54	0,66	0,75	0,85	0,83	0,75
2	Người + Ghế mềm trên diện tích sàn ngồi	0,60	0,74	0,88	0,96	0,93	0,85
3	Người + Ghế gỗ trên diện tích sàn ngồi	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86
4	Ghế mềm bọc vải trên diện tích sàn ngồi	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70
5	Ghế mềm bọc da trên diện tích sàn ngồi	0,44	0,64	0,60	0,62	0,58	0,50
6	Ghế mềm khung gỗ hoặc kim loại (mỗi ghế)	0,014	0,018	0,020	0,0,36	0,035	0,028
7	Ghế đệm cỏ nhân tạo (mỗi ghế)	0,21	0,18	0,30	0,28	0,15	0,10
8	Thính giả (bao gồm ghế ngồi) (Chỗ ngồi hẹp ≤ $0,45m^2$/người, lấy giá trị nhỏ)	0,15~0,22	0,33~0,36	0,37~0,42	0,40~0,45	0,42~0,50	0,45~0,51
9	Ghế ngồi (gỗ ván, ghế đệm, đệm cỏ nhân tạo, ghế mềm lấy giá trị lớn)	0,02~0,09	0,03~0,13	0,03~0,15	0,04~0,15	0,04~0,11	0,04~0,07
10	Thính giả ngồi trên ghế đệm cỏ nhân tạo (mỗi ghế)	0,23	0,34	0,37	0,33	0,34	0,31

CẤU TẠO VÀ HỆ SỐ HÚT ÂM CỦA BẢN ĐỤC LỖ [19]
ĐỤC LỖ TRÒN (hình vẽ ở trang sau)

STT	Tên kết cấu và cấu tạo	δ (cm)	d (cm)	D (cm)	h (cm)	Hệ số hút âm α					
						125	250	500	1000	2000	4000
1	Gỗ dán 3 lớp 1	0,3	0,5	4	10	0,37	0,54	0,30	0,09	0,11	0,19
2	2b	0,3	0,5	4	10	0,29	0,70	0,51	0,20	0,16	0,23
3	3a	0,3	0,5	4	10	0,67	0,73	0,51	0,29	0,19	0,17
4	4b	0,3	0,5	4	20	0,70	0,36	0,35	0,27	0,18	0,15
5	5a	0,3	0,5	4	5	0,17	0,48	1,0	0,94	0,83	0,64
6	6 f1	0,3	0,4	4	5	0,27	0,43	0,36	0,25	0,15	0,13
7	7 f1	0,3	0,4	4	10	0,47	0,47	0,36	0,28	0,25	0,27
8	8 f1	0,3	0,7	3	5	0,19	0,36	0,45	0,43	0,30	0,24
9	9 f2	0,3	0,7	3	10	0,45	0,51	0,55	0,48	0,34	0,21
10	10 f3	0,6	0,4	4	5	0,32	0,42	0,31	0,18	0,13	0,10
11	11 f	0,3	0,5	1,34	5	0,36	0,53	0,63	0,67	0,76	0,83
12	12 f	0,3	1,0	1,3	3	0,15	0,3	0,51	0,58	0,42	0,33
13	Gỗ dán 5 lớp 1a	0,5	0,5	7	20	1,0	0,34	0,3	0,14	0,11	0,24
14	2b	0,5	0,5	7	10	0,48	0,8	0,58	0,37	0,25	0,22
15	3	0,5	0,5	7	20	0,86	0,19	0,14	0,07	0,06	0,15
16	4b	0,5	0,5	7	20	0,86	0,25	0,20	0,10	0,08	0,18
17	Tấm dăm bào 1	–	0,5	4,8	20	0,75	0,2	0,13	0,08	0,15	0,22
18	2b	–	0,5	4,8	20	0,72	0,21	0,16	0,08	0,10	0,17
19	Bản mỏng 1	0,9	1,0	4,5	4,3	0,38	0,32	0,28	0,25	0,23	0,14
20	Tấm ép 2a	0,6	0,6	4,2	5	0,36	0,59	0,49	0,62	0,52	0,38
21	Tấm thạch cao 1 e1	0,8	0,4	–	6,8	–	0,59	0,37	0,10	0,09	0,12
22	2 d1	0,8	0,4	–	6,8	–	0,63	0,41	0,11	0,10	0,13
23	3 f3	0,8	0,4	–	6	–	0,74	0,54	0,15	0,10	0,12
24	4 f4	0,8	0,4	–	6	–	0,79	0,54	0,24	0,14	0,14
25	5 e2	0,8	0,4	–	6	–	0,62	0,44	0,15	0,10	0,14
26	6 d2	0,8	0,8	–	6	–	0,85	0,56	0,27	0,14	0,15
27	Gỗ hóa học 1*	3,6	0,5	1,7	3,1	0,12	0,28	0,54	0,22	0,23	0,24
28	2	3,6	0,5	1,8	3,1	0,05	0,28	0,56	0,20	0,20	0,25
29	Tấm bột giấy 1 C	1,7	0,4	–	0	0,10	0,19	0,36	0,37	0,51	0,68
30	2	1,7	0,4	–	0	0,09	0,20	0,39	0,38	0,56	0,84
31	Tấm rơm ép 1 C	2,5	0,6	3	0	0,08	0,20	0,37	0,27	0,31	0,45
32	2	2,5	0,6	3	0	0,11	0,26	0,40	0,31	0,36	0,37

** Đã qua xử lý chịu lửa*

CẤU TẠO BẢN ĐỤC LỖ



CẤU TẠO VÀ HỆ SỐ HÚT ÂM CỦA BẢN ĐỤC LỖ DÀI

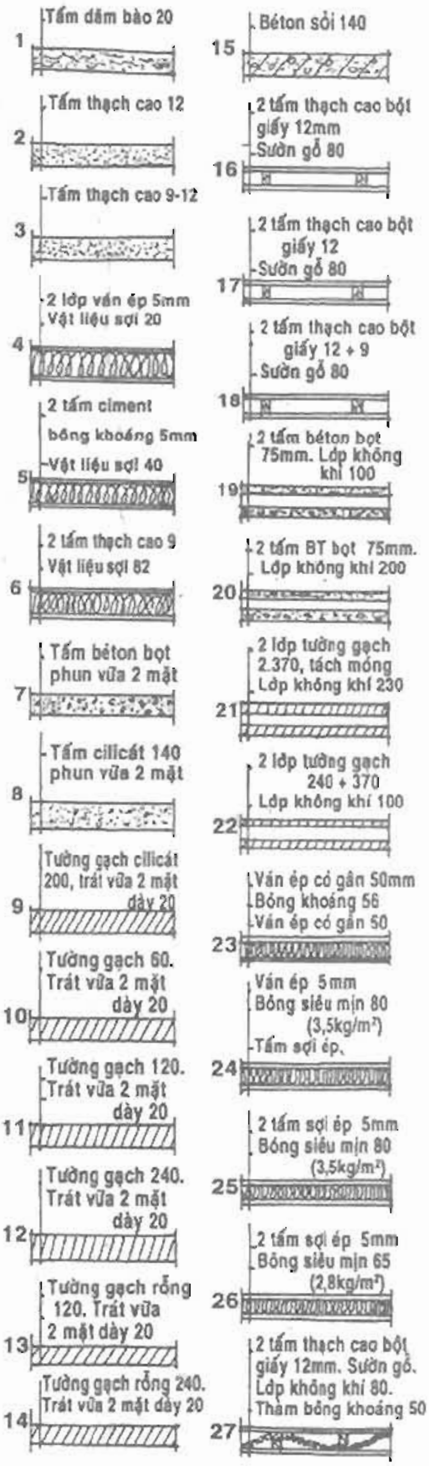
STT	δ (cm)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	W (cm)	g (cm)	Hệ số hút âm α					
							125	250	500	1000	2000	4000
1	0,3	4,5	0,2	2,0	1,0	5	0,21	0,35	0,40	0,43	0,42	0,39
2	0,3	6,0	0,2	2,1	0,7	5	0,20	0,55	0,75	0,70	0,60	0,51
3	1,0	7,5	0,2	4,8	5,5	10	0,26	0,31	0,24	0,05	0,11	0,20
4	1,0	7,5	0,2	4,8	5,5	10	0,25	0,25	0,25	0,05	0,15	0,22
5	1,0	7,5	0,2	4,8	5,5	20	0,37	0,24	0,17	0,20	0,20	0,37
6	1,0	7,5	0,2	4,8	5,5	20	0,36	0,19	0,21	0,13	0,19	0,31
7	0,3	7,5	0,3	1,5	5,5	5	0,12	0,05	0,15	0,20	0,22	0,33
8	0,3	7,5	0,3	1,5	2,5	1	0,04	0,05	0,05	0,06	0,15	0,24
9	0,3	7,5	0,3	1,5	2,5	1	0,05	0,04	0,05	0,06	0,15	0,16

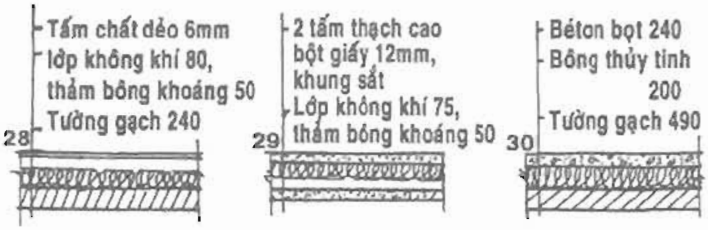
Phụ lục 2

CẤU TẠO CÁCH ÂM

I. CẤU TẠO TƯỜNG VÀ LƯỢNG CÁCH ÂM KHÔNG KHÍ, LƯỢNG CÁCH ÂM KHÔNG KHÍ TÍNH TOÁN R_{tt}

Mã số	Khối lượng (kg/m²)	Lượng cách âm không khí, DB						R_{tt}
		125	250	500	1000	2000	4000	
1	13,8	22	25	28	34	29	34	31
2	8,8	14	21	26	31	30	30	28
3	15,4	21	22	24	32	35	35	31
4	8,7	18	19	22	29	34	32	29
5	23	20	27	33	37	37	37	35
6	30	18	23	23	23	33	35	28
7	160	31	37	41	45	51	55	46
8	220	34	37	38	45	46	56	44
9	450	35	41	49	51	58	60	52
10	160	26	30	30	34	41	40	35
11	240	37	34	41	48	55	53	47
12	480	42	43	49	57	64	62	55
13	180	31	40	39	47	52	55	46
14	298	21	21	31	33	42	46	33
15	238	32	31	40	43	49	56	42
16	25	27	29	35	43	42	44	38
17	45	35	35	43	51	58	51	46
18	40	34	34	41	48	56	54	45
19	140	40	50	50	57	65	70	55
20	140	40	52	51	59	71	76	58
21	1400	61	79	80	89	89	-	85
22	720	37	45	47	67	66	78	52
23	22	22	36	45	52	56	55	46
24	11,2	21	31	40	57	61	60	42
25	13,3	24	36	48	58	63	63	46
26	12,6	21	39	41	55	61	66	41
27	29	34	40	48	51	57	49	49
28	62	40	51	58	63	64	57	52
29	500	44	52	58	75	84	72	63
30	1158	40	55	70	79	82	-	64





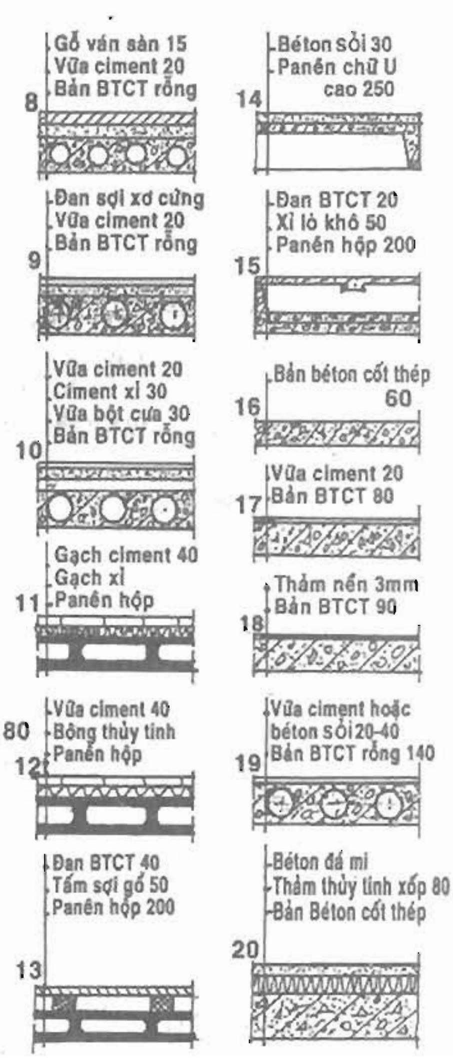
II. MỨC ÁP SUẤT ÂM VA CHẠM TẮT DẦN KHI LAN TRUYỀN TRONG KẾT CẤU [19]

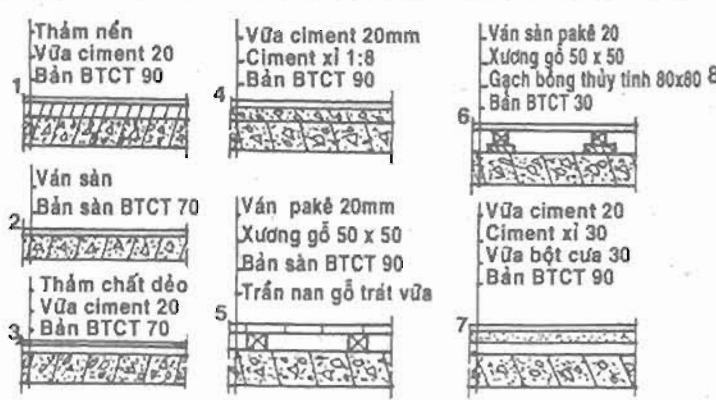
Kết cấu thường gặp	Thép	Kết cấu gạch đá	Bê tông	Gỗ
Lượng tắt dần, dB/m	0,01 – 0,03	0,02 – 0,13	0,03 – 0,2	0,05 – 0,33

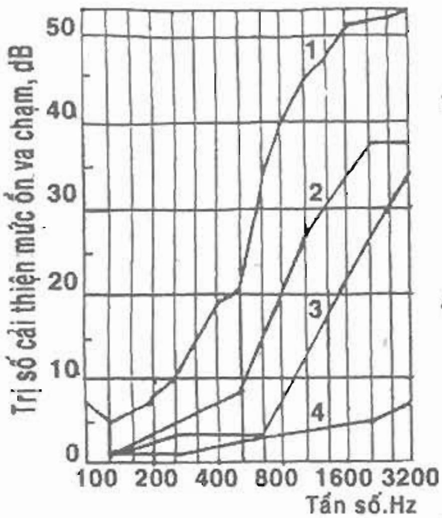
Phương lan truyền	Phương ngang dB/không gian mở	Phương đứng dB/tầng		
Kết cấu / Tần số, Hz	Các loại	Bản lớn	Bản nhẹ khung cột	Bê tông, gạch đá
125	2,5 – 3,0	3,0 – 3,6	3,6	3,2
250	4,5 – 5,0	4 – 5	7,3	6
500	5 – 6	5	8,6	7,5
1000	6 – 7	5,9	9,1	7,5
2000	7 – 9	7 – 8	9	–
4000	8 – 10	9 – 10	–	–
Tính toán	6 – 7	4 – 5	8,9	5,3

III. MỨC ÁP SUẤT ÂM VA CHẠM VÀ MỨC ÁP SUẤT ÂM VA CHẠM TÍNH TOÁN L_{vn}

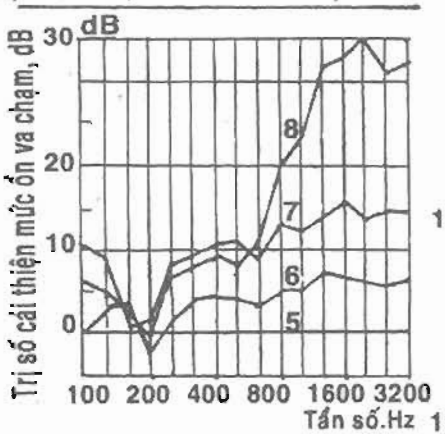
Mã số	Lượng cách âm không khí, dB						L_{vn}
	125	250	500	1000	2000	3150	
1	65,3	68,5	62,4	53,3	53,4	52,3	62
2	72,1	74,4	76,5	71,3	62,5	58,5	69
3	71,5	75,7	78,3	78,5	77,5	73,7	85
4	72,2	79,8	81,6	81,3	77,2	72	84
5	63,0	65,0	56,0	48,0	42,0	38	58
6	70	70	70	60	56	40	68
7	71,1	74,4	75,5	64,6	53,3	47,1	72
8	69,5	73,3	76,0	70,5	62,0	56,8	72
9	70,5	75,2	80,2	81,4	82,8	84,3	90
10	65	72	72	59	43	40	67
11	71	66	60	54	43	37	64
12	46	55	62	54	47	44	57
13	57	58,1	58,9	60,2	54	46	61
14	74,0	81,0	86,0	88,5	87,0	83	94
15	83,9	80,9	81,2	78,3	72,1	67	80
16	77,6	83,6	90,0	94,2	90,7	78,5	97
17	74,3	82,0	85,3	87,3	83,0	78,5	89
18	59	73	74	73	59	53	60
19	67,6	70,3	72,0	74,7	75,4	72,0	82
20	54,8	55,3	59,4	61,1	50,3	48,2	58



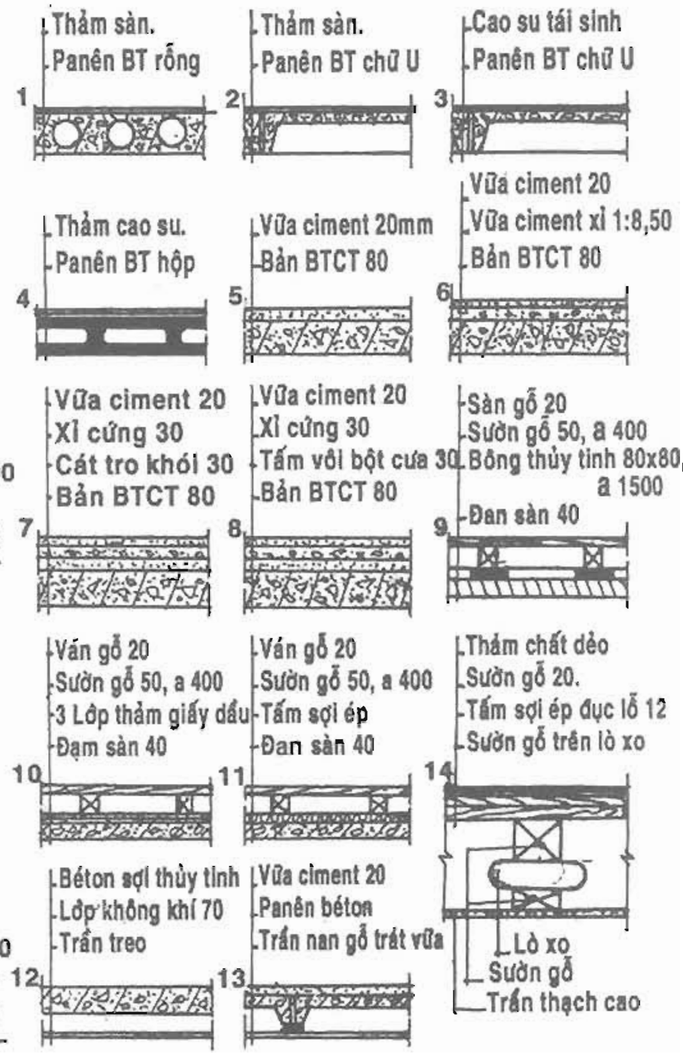


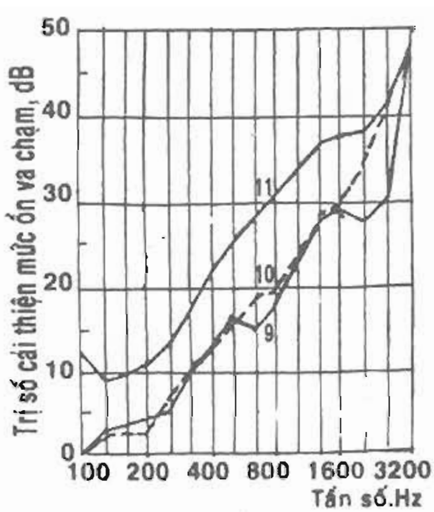


Trị số cải thiện do thảm đàn hồi phủ mặt

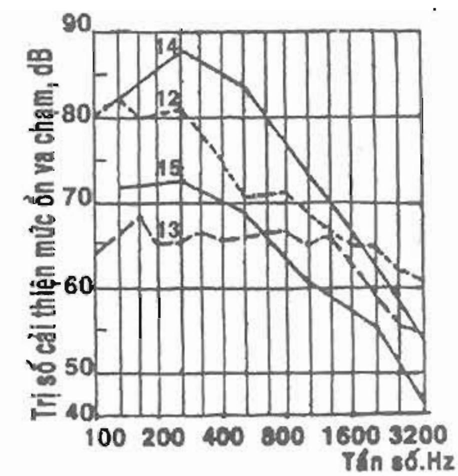


Trị số cải thiện do cấu tạo phức hợp





Trị số cải thiện do lớp sàn nổi trên đệm đàn hồi



Trị số cải thiện do cấu tạo trần

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **William J Cavanaugh and Joseph A. Wilkes:**
Architectural Acoustics – Pricíples and Practice
John Wiley and sons. Inc – 1998

2. **Fritz Ingerslev** — **ACOUSTICS IN MODERN BUILDING PRATICE**
The Architectural Press – London 1952
(Qua bảng Trung Văn – Nhà xuất bản Trung Quốc 1963)

3. **H. M Gucev** — **CƠ SỞ VẬT LÝ XÂY DỰNG**
Ctroizdat, Mockva 1975

4. **H. F Olson** — **ACOUSTICS ENGINEERING,**
D. Van nostrand company.Inc 1957
(Qua bảng Trung Văn – Nhà xuất bản Ngoại Văn T.Q 1964)

5. **L.Z. Papemov** — **H.T Molodaia: TR. M. Mecher**
TÍNH TOÁN VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG TĂNG ÂM TRONG NHỮNG PHÒNG KÍN
Nhà xuất bản thông tin – Mockva 1970

6. **G. L. Ocipov** — **B, G, Prytkoy ; I. A. Siskin ; I. L. Karagodina**
NHỮNG BIỆN PHÁP CHỐNG ỒN TRONG XÂY DỰNG ĐÔ THỊ
Ctroizdat – Mockva 1970

7. **G. L. Ocipov** — **BẢO VỆ CÔNG TRÌNH KHỎI TIẾNG ỒN**
Ctroizdat – Mockva 1975

8. **A. C. Raes** — **ISOLATION SONORE ET ACOUTIQUE ARCHITECGRALE**
Editions Chiron – Paris 1964

9. **E. IA. Iudin** — **CHỐNG ỒN**
Ctroizdat – Mockva 1964

10. **V. O. Knudsen** — **X. M. Hariss**
ACOUSTICAL DISIGNING IN ARCHITECTURAL
John Wiley and sons. Inc 1950
(Qua bảng Trung Văn. Nhà xuất bản KHKT T.Q 1957)

11. **Thiết kế kiến trúc** — **CÁC PHÒNG BIỂU DIỄN**
Ctroizdat – Mockva 1975

12. V. I Zaborov — **LÝ THUYẾT CÁCH ÂM KẾT CẤU NGĂN CÁCH CHỐNG ỒN TRONG CÔNG TRÌNH DÂN DỤNG**
Ctroizdat – Mockva 1962

13. C. D Kovrigin ; A. V. Zakharov ; A. I. Geracimov — **CHỐNG ỒN TRONG CÔNG TRÌNH DÂN DỤNG**
Ctroizdat – Mockva 1969

14. I. L karagodina ; G. L Ocipov; I. A. Siskin — **CHỐNG ỒNTRONG THÀNH PHỐ**
Medicina – 1972

15. **SỔ TAY THIẾT KẾ CHỐNG ỒN**
Ctroizdat – Mockva 1974

16. Tiêu chuẩn xây dựng — **THIẾT KẾ CHỐNG ỒN Ở NHÀ VÀ CÔNG TRÌNH CÔNG CỘNG**
Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội 1999

17. **KIẾN TRÚC VẬT LÝ**
Nhà xuất bản công nghiệp Trung Quốc 1964

18. N.M. Gucev ; P. P. Klimov — **VẬT LÝ XÂY DỰNG**
Ctroizdat – Mockva 1965

19. **KIẾN TRÚC THIẾT KẾ TƯ LIỆU TẬP, tập 2/10**
NXB Kiến trúc Công nghiệp TQ. Xuất bản lần thứ 2 - 1994

20. V. C. Mankovxki — **ÂM HỌC TRONG CÁC PHÒNG BÁ ÂM VÀ TRONG CÁC PHÒNG KHÁN GIẢ LỚN**
Izdacheletvo Icckuctvo – Mocka 1966

21. NEUFERT — **NHỮNG DỮ LIỆU KIẾN TRÚC SƯ**
Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật 1997

22. HỘI KIẾN TRÚC HỌC NHẬT BẢN — **TƯ LIỆU THIẾT KẾ KIẾN TRÚC**
Nhà xuất bản Phàm Thư Trúc Thí Hội

CƠ SỞ ÂM HỌC KIẾN TRÚC
(THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM)

(Tái bản)

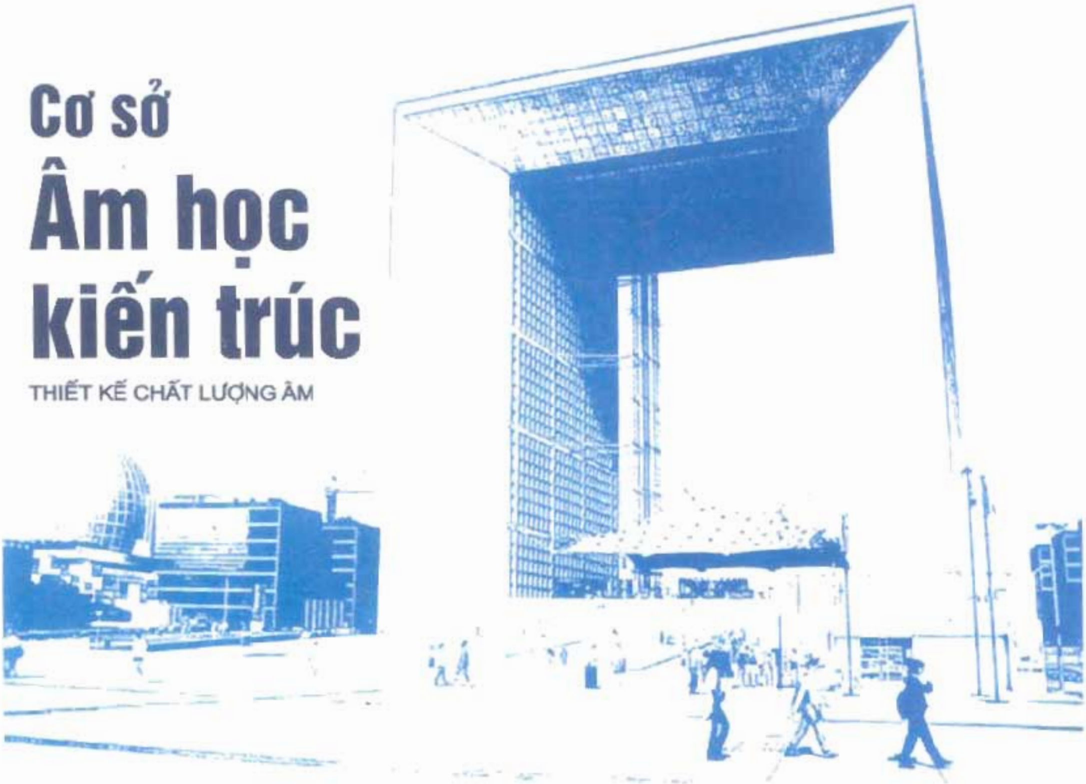
Chịu trách nhiệm xuất bản :
TRỊNH XUÂN SƠN

Biên tập : ĐINH BẢO HẠNH
Sửa bản in : ĐINH BẢO HẠNH
Chế bản : NGUYỄN TÔ HOÀNG
Trình bày bìa : VŨ BÌNH MINH

In 200 cuốn khổ 19 x 27cm tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 21-2010/CXB/481-64/XD ngày 30-12-2009. Quyết định xuất bản số 73/QĐ-XBXD ngày 17-3-2010. In xong nộp lưu chiểu tháng 3 -2010.

Cơ sở
Âm học kiến trúc

THIẾT KẾ CHẤT LƯỢNG ÂM



CÁC SÁCH CỦA TÁC GIẢ VIỆT HÀ - NGUYỄN NGỌC GIẢ ĐÃ XUẤT BẢN TẠI NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG:

- **Sách do tác giả biên soạn:**

  - Quang học kiến trúc
  - Khí hậu kiến trúc
  - Cơ sở âm học kiến trúc

- **Sách do tác giả làm chủ biên cùng cộng tác:**

  Biên soạn:

  - Cơ sở tạo hình kiến trúc
  - Kiến trúc nhỏ, tiểu cảnh, tiểu phẩm kiến trúc, quảng trường thành phố
  - Kiến trúc nông nghiệp

  Biên dịch:

  - Phân tích phương pháp tạo hình kiến trúc những công trình kiến trúc nổi tiếng của kiến trúc sư lớn thế giới

78-72(V) / XD - 2010 21 - 2010

Giá : 95.000đ